
Diplomarbeit

Herr
Roland Heinz

Förderung abrasiver Rückstände

Sankt Martin im Sulmtal, 2012

Diplomarbeit

Förderung abrasiver Rückstände

Autor:
Herr

Roland Heinz

Studiengang:
Maschinenbau/ Mechatronik

Seminargruppe:
KM08w2MGA

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Gebhardt

Zweitprüfer:
Dipl.-Ing. Ralph Mühlbacher

Einreichung:
Mittweida, 21.1.2013

Bibliografische Angaben:

Heinz, Roland:
Förderung abrasiver Rückstände
15 Seiten, 58 Seiten, 3 Seiten
Mittweida, Hochschule Mittweida (FH)
Fakultät Maschinenbau
Diplomarbeit, 2012

Referat:

Ziel dieser Arbeit ist, die Auslegung einer Beschickungsanlage zur Förderung von abrasiver Recyclingmaterialien für die Speisung von Öfen.
Dadurch sollen die derzeitigen Manipulationstätigkeiten auf ein Minimum reduziert und eine kontinuierliche Beschickung ermöglicht werden. Wichtig dabei ist, dass ein störungsfreier Betrieb gewährleistet wird.

Inhalt

Inhalt.....	5
Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	8
Diagrammverzeichnis.....	9
Formelverzeichnis.....	10
1 Einleitung.....	12
1.1 Aufgabenstellung.....	12
1.2 Zielsetzung.....	14
1.3 Kapitelübersicht.....	14
2 Allgemeine Pumpentechnik.....	15
2.1 Vergleich der Pumpenbauarten.....	15
2.1.1 Oszillierende Verdrängerpumpen.....	16
2.1.2 Rotierende Verdrängerpumpen.....	17
3 Auswahl einer Pumpe.....	18
3.1 Fördermedieneigenschaften.....	19
3.2 Dickstoffpumpen.....	20
3.2.1 Allgemeines.....	20
3.2.2 Bauarten.....	20
3.2.2.1 Rohrweichenpumpe.....	21
3.2.2.2 Sitzventilpumpe.....	22
3.2.2.3 Kugelventilpumpe.....	23
3.2.2.4 Kolbenpumpe.....	24
3.2.2.5 Kalottenpumpe.....	25
3.2.2.6 Vergleich d. Dickstoffpumpen.....	26
3.2.2.7 Auswahl einer geeigneten Dickstoffpumpe.....	26
4 Ermittlung d. Fördermedieneigenschaften.....	27

4.1	<i>Medieneigenschaften</i>	27
4.1.1	<i>Siebanalyse/ Korngrößenverteilung</i>	27
4.1.2	<i>pH-Wert</i>	28
4.1.3	<i>Dichte des Feststoffes</i>	30
4.1.4	<i>Feststoffanteile/ Filtrationsrückstand</i>	31
4.1.5	<i>Viskosität und Dichte des Filtrates</i>	31
4.1.6	<i>Viskosität der Suspension</i>	31
5	Dimensionierung der Pumpe	32
5.1	<i>Fördermenge</i>	32
5.1.1	<i>Berechnung der Massenanteile des Fördermediums</i>	34
5.2	<i>Zylinder/Kolbengröße</i>	36
5.2.1	<i>Berechnung der effektiven Hubvolumen</i>	38
5.2.2	<i>Berechnung der Hubanzahl</i>	39
5.3	<i>Berechnung d. Antriebskolbens</i>	40
5.4	<i>Berechnung des Ölvolumenstroms</i>	41
5.5	<i>Berechnung des Druckverlustes nach Brauer</i>	44
5.5.1	<i>Berechnung des Gesamtdruckverlustes</i>	45
5.5.1.1	<i>Berechnung des flüssigkeitsbedingten Druckverlustes</i>	45
5.5.1.2	<i>Berechnung des feststoffbedingten Druckverlustes</i>	45
5.6	<i>Berechnung des Hydrauliköldruckes</i>	52
5.7	<i>Berechnung der erforderlichen theoretischen Leistung</i>	52
5.8	<i>Berechnung der Antriebsleistung des Hydraulikaggregates</i>	52
5.9	<i>Berechnung der elektrischen Leistung</i>	53
5.10	<i>Festlegung der Antriebart</i>	53
5.11	<i>Pumpenkennlinie</i>	56
6	Dimensionierung der Rohrleitung	57
6.1	<i>Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit</i>	58
6.2	<i>Berechnung des Rohrleitungsquerschnittes</i>	58
6.3	<i>Bestimmung des Rohrleitungsquerschnittes mittels Diagramm</i>	59
6.4	<i>Berechnung der Wandstärke</i>	60
6.4.1	<i>Berechnung der Mindestwandstärke</i>	62
6.4.2	<i>Berechnung der Bestellwandstärke</i>	63

7 Planung und Aufbau des Pumpversuches.....	65
Zusammenfassung.....	69
Literatur.....	70
Anhänge.....	71
<i>Hydraulikaggregat für die Versuchspumpe.....</i>	<i>I</i>
<i>Dickstoffpumpe für den Versuch.....</i>	<i>II</i>
<i>Rohrleitungsisometrie für den Versuch.....</i>	<i>III</i>
Eidesstattliche Erklärung	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rohstoff A.....	12
Abbildung 2: Rohstoff B.....	12
Abbildung 3: Prozessschema	13
Abbildung 4: Rohrweichenpumpe	21
Abbildung 5: Sitzventilpumpe	22
Abbildung 6: Kugelventilpumpe	23
Abbildung 7: Kolbenpumpe	24
Abbildung 8: Kalottenpumpe.....	24
Abbildung 9: Korngrößenverteilung Fördermedium	29
Abbildung 10: Rohraabschnitt zur Erläuterung der Ablagerungssituation	44
Abbildung 11: Antriebsarten von Dickstoffpumpen	51
Abbildung 12: Zusammenhänge von Zuschlägen und Wanddicken..	51
Abbildung 13: Prozessbild der Versuchsanlage..	65
Abbildung 14: Versuchsanlage.....	66
Abbildung 15: Förderschnecke Typ THS 332 HCB P..	66
Abbildung 16: Standardpumpe Typ KOS 1070 P..	67
Abbildung 17: Hydraulikaggregat Typ HA55 CI.....	67
Abbildung 18: Zentrifixsystem	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bauarten, Einsatzgebiete und Einsatzgrenzen von Verdrängerpumpen	18
Tabelle 2: Rohstoff A	21
Tabelle 3: Rohstoff B	21
Tabelle 4: Mischrohstoff.....	21
Tabelle 5: Vergleich Dickstoffpumpen.....	28
Tabelle 6: Hubvolumen in Abhängigkeit v. Förderzylinderdurchmesser u. Pumpenhub .	39
Tabelle 7: Partikel mit den Formfakoren	48
Tabelle 8: Iterative Berechnung der Sinkgeschwindigkeit.....	50
Tabelle 9: Ergebnisse der Pumpendimensionierung.....	55
Tabelle 10: Vergleich der Rohrinnendurchmesser	60
Tabelle 11: Beispiele f. Sicherheitsbeiwerte zur Wanddickenberechnung.....	61
Tabelle 12: Rohrleitungswerkstoffe und ihre Festigkeitswerte.....	61
Tabelle 13: Ergebnisse der Rohrleitungsberechnung	64

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Vergleich d. Leistungsparameter d. Pumpenhauptgruppen	17
Diagramm 2: Pumpentypen im Vergleich.....	18
Diagramm 3: Siebliniendiagramm.....	29
Diagramm 4: Siebanalyse Fördermaterial.....	30
Diagramm 5: Korngrößenverteilung mit $d_p 50$ und $d_p 85$ Werte	47
Diagramm 6: Formfaktor in Abhängigkeit der Korngröße	48
Diagramm 7: Kennlinie der Dickstoffpumpe.....	56
Diagramm 8: Verknüpfung der Einflussgrößen bei der Planung einer Rohrleitung.....	57
Diagramm 9: Rohrlitungsdurchmesser in Abhängigkeit von Volumenstrom und Strömungsgeschwindigkeit.....	59

Formelverzeichnis

$\dot{m}_{erfnenn}$	$\frac{kg}{h}$	Erforderliche Nennmassenstrom
\dot{m}_{erfmax}	$\frac{kg}{h}$	maximaler Massenstrom
\dot{m}_{erfmin}	$\frac{kg}{h}$	minimaler Massenstrom
ϱ	$\frac{kg}{dm^3}$	Dichte
$\dot{V}_{erfnenn}$	$\frac{dm^3}{h}$	Erforderlicher Nennvolumenstrom
\dot{V}_{erfmax}	$\frac{dm^3}{h}$	Maximaler Volumenstrom
\dot{V}_{erfmin}	$\frac{dm^3}{h}$	Minimaler Volumenstrom
t_b	h	Betriebsstunden
$\dot{V}_{erfmaxd}$	$\frac{dm^3}{d}$	Tagesbedarf
\dot{Q}_{DSP}	$\frac{dm^3}{h}$	Fördermenge d. Dickstoffpumpe
fg		Füllgrad
$V_{HtheoZ1}$	dm^3	theoretisches Hubvolumen Zylinder 1
$V_{HtheoZ2}$	dm^3	theoretisches Hubvolumen Zylinder 2
$V_{HtheoZ3}$	dm^3	theoretisches Hubvolumen Zylinder 3
d_{kZ1}	mm	Durchmesser Kolben Zylinder 1
l_{HZ1}	mm	Hubhöhe Zylinder 1
d_{kZ2}	mm	Durchmesser Kolben Zylinder 2
l_{HZ2}	mm	Hubhöhe Zylinder 2
d_{kZ3}	mm	Durchmesser Kolben Zylinder 3
l_{HZ3}	mm	Hubhöhe Zylinder 3
V_{HeffZ1}	dm^3	Effektives Hubvolumen Zylinder 1
V_{HeffZ2}	dm^3	Effektives Hubvolumen Zylinder 2
V_{HeffZ3}	dm^3	Effektives Hubvolumen Zylinder 3

n_{PZ1}	min^{-1}	Hübe der Pumpe mit Zylinder 1
n_{PZ2}	min^{-1}	Hübe der Pumpe mit Zylinder 2
n_{PZ3}	min^{-1}	Hübe der Pumpe mit Zylinder 3
n_{HZ1}	min^{-1}	Hübe Zylinder 1
n_{HZ2}	min^{-1}	Hübe Zylinder 2
n_{HZ3}	min^{-1}	Hübe Zylinder 3
i		Übersetzungsverhältnis
A_A	mm^2	Arbeitskolbenquerschnitt
A_F	mm^2	Förderkolbenquerschnitt
d_{KFZ}	mm	Förderkolbendurchmesser
d_{KAZ}	mm	Arbeitskolbendurchmesser
$\dot{Q}_{\text{öl}_{theo}}$	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	theoretischer Ölvolumenstrom
$\dot{Q}_{\text{öl}}$	$\frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$	Ölvolumenstrom
Δ_p	bar	Gesamtdruckverlust
Δ_{pS}	bar	Feststoffbedingter Druckverlust
Δ_{pF}	bar	Flüssigkeitsbedingter Druckverlust
l	mm	Rohrleitungslänge
d_{p85}	mm	Korngröße bei 85 Gew. %
c_T	%	Transportkonzentration
g	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	Erdbeschleunigung
k		Formfaktor
c_A	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	Absetzgeschwindigkeit
c_s	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	Sinkgeschwindigkeit
ζ_W		Widerstandsbeiwert
Re_s		Reynoldszahl des Sedimentstromes
$p_{\text{öl}}$	bar	Hydrauliköldruck

P_{erf}	kW	Erforderliche theoretische Leistung
P_{An}	kW	Antriebsleistung des Hydraulikaggregats
P_{el}	kW	Elektrische Leistung
v	$\frac{m}{s}$	Strömungsgeschwindigkeit
A_R	mm^2	Rohrleitungsquerschnitt
d_R	mm	Rohrleitungsdurchmesser
σ_{vor}	$\frac{N}{mm^2}$	Vorhandene Spannung
σ_{zul}	$\frac{N}{mm^2}$	Zulässige Spannung
K		Festigkeitskennwert
S		Sicherheitsbeiwert
σ_{zul1}	$\frac{N}{mm^2}$	Zulässige Spannung Werkstoff 1
σ_{zul2}	$\frac{N}{mm^2}$	Zulässige Spannung Werkstoff 2
s_{v1}	mm	Mindestwandstärke Werkstoff 1
s_{v2}	mm	Mindestwandstärke Werkstoff 2
p_e	bar	Maximaler Innendruck
S_n	mm	Bestellwandstärke
c_1	mm	untere Waddickentoleranz
c_2	mm	Korrosionszuschlag
c_{2i}	mm	Korrosionszuschlag innen
c_{2a}	mm	Korrosionszuschlag außen
C_F	mm	fertigungsbedingte Waddickenminderung
ε_S	mm	Rundungsfaktor
S_1	mm	Bestellwandstärke Werkstoff 1
S_2	mm	Bestellwandstärke Werkstoff 2

1. Einleitung

Im folgenden Kapitel sollen die Aufgabenstellung und die Zielsetzung dieser Diplomarbeit erläutert werden. Weiters soll ein kurzer Überblick zu den einzelnen Kapiteln dieser Arbeit gegeben werden.

1.1 Aufgabenstellung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Konzeptionierung und Auslegung einer automatisierten Beschickungsanlage für Öfen.

Dabei soll eine Förderanlage für abrasive Recyclingmaterialien, sogenannte Sekundärrohstoffe, wie der Rohstoff A (Abbildung 1) und Rohstoff B (Abbildung 2) untersucht und ausgelegt werden.



Abbildung 1: Rohstoff A

eigene Quelle



Abbildung 2: Rohstoff B

eigene Quelle

Da sich die Sekundärrohstoffe in ihrer Konsistenz stark voneinander unterscheiden, soll geprüft werden, ob beide Medien mit demselben Förderaggregat gefördert werden können. Falls nicht, sollen die Rohstoffe so miteinander vermischt werden, dass die Mischung ein förderbares Medium ergibt.

Die Förderwege ließen sich mit mechanischen Förderern wie Bändern, Schnecken und Trögen überbrücken. Vorteile sind, dass lange Förderwege, hohe Fördermengen und hohe Fördergeschwindigkeiten bei sehr geringen Antriebleistungen und geringen Verschleiß realisierbar sind. Nachteile solcher Anlagen sind aber zum Einen, dass es in ihrer Umgebung zu Lärmbelastungen kommen kann und zum Zweiten müssen horizontale und vertikale Förderwege miteinander kombiniert werden, d.h. es sind eine Vielzahl an Materialübergabestellen erforderlich. Aus diesem Grund ist das Fördern in geschlossenen Rohrleitungen die bevorzugte Variante. Vorteile hier sind, dass die Förderung nahezu geräuscharm und geruchlos erfolgt. Weiters können die Förderleitungen in bestehende Anlagen ohne größeren Aufwand eingebaut werden.¹

Zu berücksichtigen ist, dass beide Stoffe, stark abrasiv wirken, deshalb muss ein besonderes Augenmerk auf die Rohrleitungsauslegung und Führung gelegt werden.

Die Auslegung soll für das Förderaggregat und die Rohrleitung vorgenommen werden. In Abbildung 3 ist das prinzipielle Prozessschema (Konzept) abgebildet.

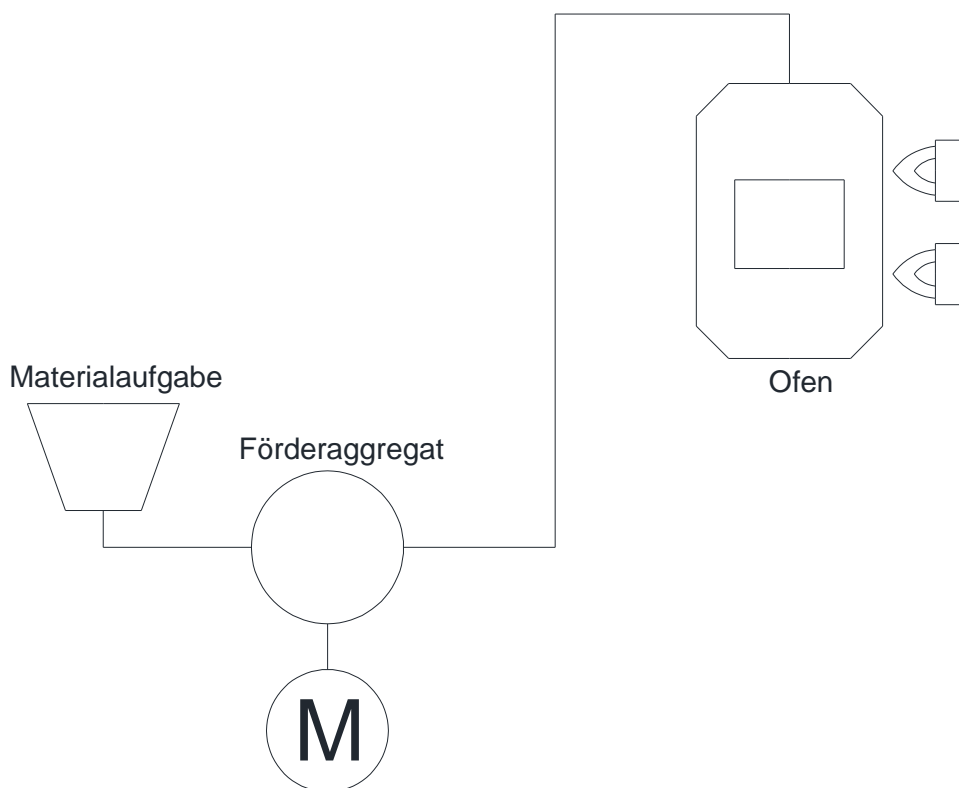


Abbildung 3: Prozessschema

eigene Quelle

¹ (Frey, 1995) S.4

1.2 Zielsetzung

Derzeit werden diese Materialien in mobilen Zwangsmischern mittels Flurförderfahrzeugen transportiert und mit Hallenkränen auf die Öfen gehoben.

Das Material wird dann händisch aus den Zwangsmischern in die Eintragsöffnungen gefüllt. Mit Hilfe der Beschickungsanlage sollen diese aufwendigen Transportprozesse und langen Manipulationstätigkeiten weitestgehend entfallen, wodurch sich eine Zeit- und auch Kostenersparnis ergeben soll.

Des Weiteren sollen durch diese Neuanlage die Arbeitsbedingungen für den Arbeitnehmer stark verbessert werden, da durch die geplante Installation, Tätigkeiten, bei denen Staub entstehen und es zu Staubverwirbelungen kommen kann, entfallen.

1.3 Kapitelübersicht

Die Arbeit besteht aus 7 Kapiteln.

Nach der allgemeinen Einleitung im **Kapitel 1**, werden im **Kapitel 2** die allgemeinen Grundlagen der Pumpentechnik erläutert. Dabei werden mehrere Pumpentypen miteinander verglichen, die Einsatzgrenzen der verschiedenen Pumpenbauarten betrachtet und erste Einschränkungen getroffen. Weiters erfolgt ein Einblick in die Grundlagen der Verdrängerpumpentechnik, welche als Basis der gesamten Arbeit dienen sollen.

Anschließend werden die im **Kapitel 3** angenommenen Stoffeigenschaften des Fördermediums erläutert, welche als Grundlage für die Pumpenauslegung dienen. Daraus abgeleitet erfolgt die Auswahl der Pumpenbauart.

Hinterher werden im **Kapitel 4** die physikalischen Stoffdaten durch analytische Verfahren bestimmt. Diese Stoffdaten sollen der Pumpen- und Rohrleitungsauslegung als Grundlage dienen.

Im **Kapitel 5** erfolgt die Pumpendimensionierung. So wird neben der Fördermenge und den Zylindergrößen auch der Ölbedarf der Pumpe berechnet.

Im **Kapitel 6** werden die Rohrleitungsdimensionen der Anlage ermittelt. So werden neben der Strömungsgeschwindigkeit, der Rohrleitungsdurchmesser und die Wandstärken berechnet.

Kapitel 7 beschreibt den Aufbau einer Pumpversuchsanlage. Die Anlagenkomponenten werden nach den errechneten Werten zusammengestellt und eine Versuchsanlage konzeptioniert.

2. Allgemeine Pumpentechnik

Prinzipiell muss ein Medium bestimmte Eigenschaften aufweisen, damit es überhaupt in Rohrleitungen gepumpt bzw. gefördert werden kann. So wurden im Laufe der Zeit eine Vielzahl an Pumpen konstruiert und weiterentwickelt, welche es ermöglichen, den passenden Pumpentyp für die unterschiedlichsten Anwendungen zu finden. ²

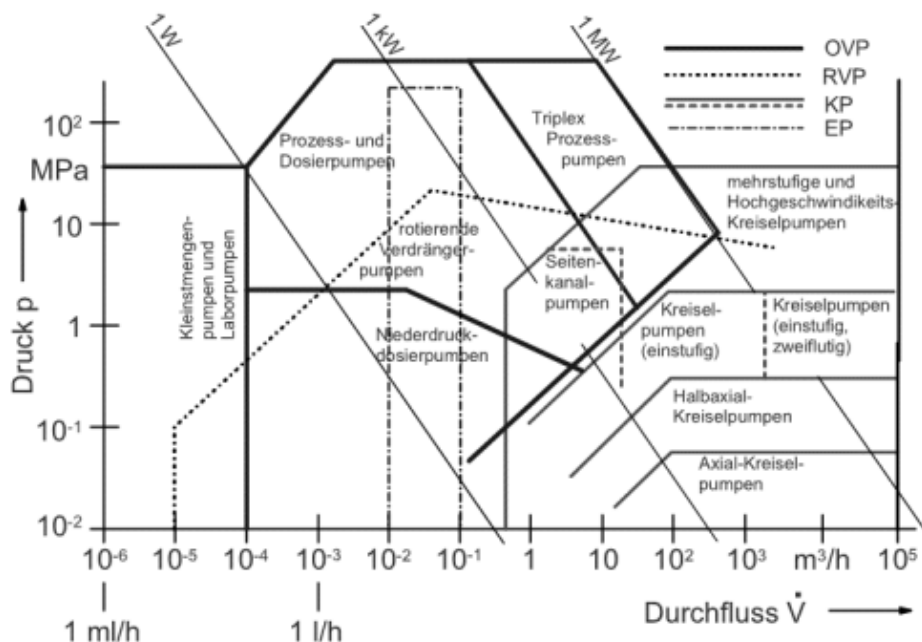
So werden zum Beispiel:

- Kreiselpumpen für Dünnschlämme mit geringer Feststoffbeladung und für geringen Förderdruck bis 8 barü
- Exzentrerschneckenpumpen für wässrige bis zähflüssige Medien mit einem Trockenstoffgehalt um 20 Prozent bei Förderdrücken von bis zu 30 barü
- Kolbenpumpen für das Pumpen von hochviskosen, extrem trockenen und feststoffhaltigen Medien

verwendet. ³

2.1 Vergleich der Pumpenbauarten

Das Diagramm 1 zeigt die Pumpenhauptgruppen, eingeteilt nach Betriebsbedingungen, wie Fördermenge und Förderdruck.



OVP – oszillierende Verdrängerpumpen
RVP – rotierende Verdrängerpumpen
KP- Kreiselpumpen
EP – Einspritzpumpen f. Motoren

Diagramm 1: Vergleich d. Leistungsparameter d. Pumpenhauptgruppen

Quelle: Küttner : Kolbenmaschinen

² vgl. (Frey, 1995) S. 7

³ vgl. (Frey, 1995) S. 7

Das Diagramm 2 zeigt die Einsatzgrenzen von Verdrängerpumpen und Kreiselpumpen.

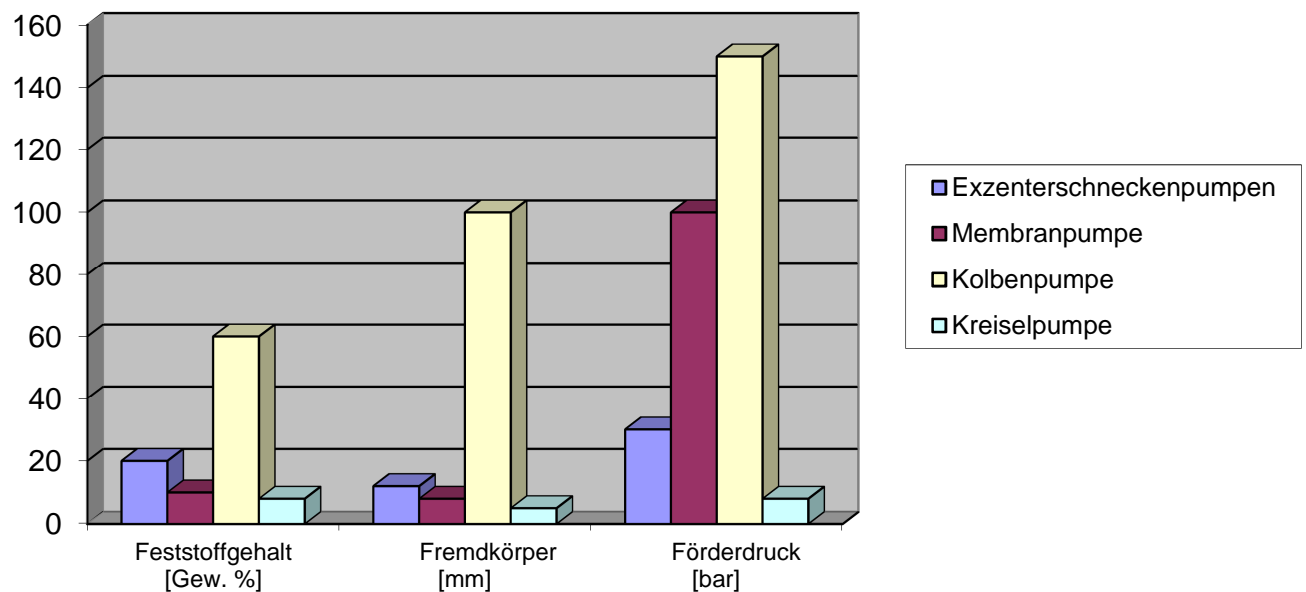


Diagramm 2: Pumpentypen im Vergleich

Quelle: Frey: Dickstoffpumpen- Aufbau und Anwendungen

Da beide Fördermedien eine erhöhte Feststoffbeladung aufweisen und Kreiselpumpen sich für diesen Anwendungsfall nicht eignen würden, werden für die weitere Betrachtung und Konzeptionierung Verdrängerpumpen untersucht.

2.2 Grundlagen zu Verdrängerpumpen

Prinzipiell können Verdrängerpumpen in zwei Kategorien eingeteilt werden, welche sich durch das Verdrängungsprinzip unterscheiden:

- oszillierende Verdrängerpumpen
- rotierende Verdrängerpumpen⁴

2.2.1 Oszillierende Verdrängerpumpen

Das Wirkprinzip dieser Pumpen ist durch einen Saug- und Druckhub gekennzeichnet. Im Saughub wird das zu fördernde Medium angesaugt und im Druckhub in die Rohrleitung gepresst. Dadurch ergibt sich ein diskontinuierlicher und pulsierender Förderstrom.

Zur Gruppe der oszillierenden Pumpen zählen Pumpen wie:

- Membranpumpen
- Kolbenpumpen

⁴ vgl. (Grote, 2004) P2

Sie finden Anwendung in der Förderung von Wasser bis hin zu Prozessen in allen Sparten der Industrie, bei denen feststoffbeladene Medien gepumpt werden sollen. Weiters werden sie dort verwendet, wo es auf eine schonende Förderung, Dosiergenauigkeit, chemische Beständigkeit und Verschleißfestigkeit ankommt.⁵

2.2.2 Rotierende Verdrängerpumpen

Das Wirkprinzip dieser Pumpen ist dadurch gekennzeichnet, dass pro Pumpenumdrehung eine geometrisch festgelegte Fluidmenge verdrängt und somit gefördert wird. Dadurch ergibt sich ein kontinuierlicher Förderstrom.

Zur Gruppe der rotierenden Pumpen zählen Pumpen wie:

- Exzentrerschneckenpumpe
- Zahnradpumpe
- Schlauchpumpe

Sie finden Anwendung in der Chemie und Petrochemie, der Lebensmittel- und Pharmaproduktion und der Papier- und Zellstoffindustrie.⁶

⁵ vgl. (Frey, 1995) S. 7

⁶ vgl. (Frey, 1995) S. 8

3. Auswahl der Pumpe

Für die Auslegung einer geeigneten Pumpenbauart sind vor allem der erforderliche Druck und der Volumenstrom wichtige Kennwerte. Neben diesen Auslegungsparametern ist aber meist das Fördermedium ausschlaggebend für die Wahl des richtigen Pumpentyps.⁷

So lassen sich Fördermedien mittlerer und hoher Viskosität mit abrasiv wirkenden Fremdkörpern und entwässerte, stichfeste Schlämme mit Verdrängerpumpen fördern.

Tabelle 1 zeigt die Bauarten, Einsatzgebiete und Einsatzgrenzen.

Tabelle 1: Bauarten, Einsatzgebiete und Einsatzgrenzen von Verdrängerpumpen

Tabelle 1. Bauarten, Einsatzgebiete und Einsatzgrenzen von Verdrängerpumpen (Kinematik: r = rotierend, o = oszillierend, Steuerung: v = ventilsteuert, w = weggesteuert, Hauptanwendung: H = Hydraulik, S = abrasive und hochviskose Schlämme, V = hochviskose, nicht abrasive Fluide, D = Dosierpumpen, L = Lebensmittel)

Kolbenmaschine Verdrängerpumpe	Kinematik	Steuerung	p_{\max}	Q_{\max}	Hauptanwendung
Hubkolbenmaschine					
Reihenkolbenpumpe	o	v, w	3000	800	H, S, D, V
Taumelscheiben-Axialkolbenpumpe	o	v, (w)	400	50	H, V
Schrägscheiben-Axialkolbenpumpe	o	w	300	30	H
Radialkolbenpumpe	o	v, w	500	50	H
Drehkolbenmaschine					
Außenzahnradpumpe	r	w	200	100	H, V
Innenzahnradpumpe	r	w	300	100	H, V
Zahnringpumpe	r	w	200	12	H, V
Drehkolbenpumpe	r	w	14	200	S, V, L
Kreiskolbenmaschine					
Exzentrerschneckenpumpe	r	w	72	400	S, V, L
Umlaufkolbenmaschine					
Flügelzellenpumpe	r	w	175	60	H, V
Sperrflügelpumpe	r	w	175	40	H
Schraubenförmiger Verdränger					
Schraubenpumpe	r	w	100	1600	H, V
Winkelachsiger Verdränger					
Schrägachsen-Axialkolbenpumpe	o	w	250	40	H
Elastischer Verdränger					
Schlauchpumpe	r	w	10	15	S, V
Schlauchmembranpumpe	o	v	160	140	S, L, V
Membranpumpe	o	v	300	180	S, V, D, L
Gasförmiger Verdränger	o	v	2	60	S, V
Schwingkolbenmaschine					
Flügelpumpe	o	v	0,2	6	

Quelle: Dubble: Taschenbuch für den Maschinenbau

⁷ vgl. (Grote, 2004) P 14

3.1 Fördermedien

In den untenstehenden Auflistungen sind die teils angenommenen Fördermedieneigenschaften angeführt.

Tabelle 2: Rohstoff A

Spezifisches Gewicht	8	kg/ m ³
Feststoffanteil	~80	%
pH-Wert	6	
Max. Korngröße	20	mm
Ø Korngröße	5	mm
Temperatur	30	°C
Beschaffenheit	fest	

eigene Quelle

Tabelle 3: Rohstoff B

Spezifisches Gewicht	4,5	kg/ m ³
Feststoffanteil	~32	%
pH-Wert	8	
Max. Korngröße	40	mm
Ø Korngröße	3	mm
Temperatur	30	°C
Beschaffenheit	pastös	

eigene Quelle

Aufgrund des hohen Feststoffanteiles des Rohstoffes A lässt sich dieser mit keinem der oben genannten Pumpentypen fördern. Aus diesem Grund soll Rohstoff A und Rohstoff B miteinander vermischt und als Mischung gefördert werden.

Tabelle 4: Mischrohstoff

Spezifisches Gewicht	6,5	kg/ m ³
Feststoffanteil	60	%
pH-Wert	7	
Max. Korngröße	40	mm
Ø Korngröße	4	mm
Temperatur	30	°C
Beschaffenheit	Pastös	

eigene Quelle

Nach Grobabschätzung der Stoffdaten der oben angeführten Mischung, wurde die Reihenkolbenpumpe als geeignete Pumpenbauart für den in dieser Arbeit betrachteten Anwendungsfall ausgewählt.

Zur Gruppe der Reihenkolbenpumpen zählen Dickstoffpumpen, die, wie der Name verrät, besonders gut für Dickstoffe und Schlämme geeignet sind. Für die Pumpenauslegung müssen die genauen Stoffdaten des zu fördernden Stoffes analytisch erfasst werden.⁸

3.2 Dickstoffpumpen

3.2.1 Allgemeines

Dickstoffpumpen gehören zur Baugruppe der oszillierenden Verdrängerpumpen und werden als hydraulisch angetriebene Kolbenmaschinen ausgeführt. Sie werden vor allem zum Fördern von flüssigen Medien mit einem hohem Feststoffanteil und pastösen Stoffen mit Feststoffen verwendet. Dickstoffpumpen können als Ein- oder Zweizylindermaschine ausgeführt werden. Sie arbeiten nach dem hydrostatischen Prinzip, dabei wird das zu fördernde Medium, je nach Anzahl an Zylindern, zugeführt und verdrängt oder im Gegentakt angesaugt und verdrängt.⁹

Häufig werden Dickstoffpumpen im Bauwesen zur Betonförderung eingesetzt. Jedoch finden sie auch Anwendung in Kraftwerken, Kläranlagen, Agraranlagen und im Bergbau. Dabei werden Stoffe wie Flugaschensuspensionen, Klärschlämme, tierische Abfälle und Gesteinsabraum gefördert.

Um Stoffe mittels einer Dickstoffpumpe fördern zu können, müssen folgende Voraussetzungen gegeben sein:

- das Verhältnis aus flüssigen und festen Bestandteilen muss so aufgebaut sein, dass sich eine plastisch verformbare Substanz ergibt.
- der Dickstoff muss gesättigt sein, d.h. dass das Porenvolumen der Feststoffe mit ausreichend Eigenkornanteil gefüllt ist.¹⁰

3.2.2 Bauarten

Es haben sich 5 Bauarten von Dickstoffpumpen in der Industrie durchgesetzt.

- Rohrweichenpumpe
 - Sitzventilpumpe
 - Kugelventilpumpe
- } Zweizylinder-Kolbenpumpe

⁸ vgl. (Frey, 1995) S. 4

⁹ vgl. (Frey, 1995) S. 7

¹⁰ vgl. (Frey, 1995) S. 37

- Kolbenpumpe
 - Kalottenpumpe
- } Einzylinder-Kolbenpumpe

3.2.2.1 Rohrweichenpumpe

Wesentliches Konstruktionsmerkmal einer Rohrweichenpumpe ist das sogenannte S-Rohr. Dieses ist am Pumpeneinlauftrichter angebracht, verbindet die Förderleitung mit dem Förderzylinder und steuert den Dickstofffluss.

Während ein Zylinder die Rückwärtsbewegung ausführt, nimmt dieser Material aus dem Pumpeneinlauftrichter auf. Parallel dazu fährt ein zweiter Zylinder aus, dabei wird der Dickstoff durch das S-Rohr in die Förderleitung gedrückt.

Bei Erreichen des Kolbenhubendes wird das an die Förderleitung angeschlossene S-Rohr zum anderen Förderzylinder umgeschwenkt.

Mit Hilfe einer Hydraulik wird die Position des S-Rohres mit den Bewegungen der beiden Förderkolben abgeglichen.

Das rasche und nahezu verschleißfreie Umschwenken des S-Rohres wird mit zwei Plungerzylindern erreicht.

Der Rohrleitungsquerschnitt des S-Rohres hat die Form eines Kreises und verjüngt sich in Förderrichtung, damit wird die Gefahr von Verstopfungen im Rohr möglichst klein gehalten.¹¹

Abbildung 3 zeigt eine Rohrweichenpumpe.

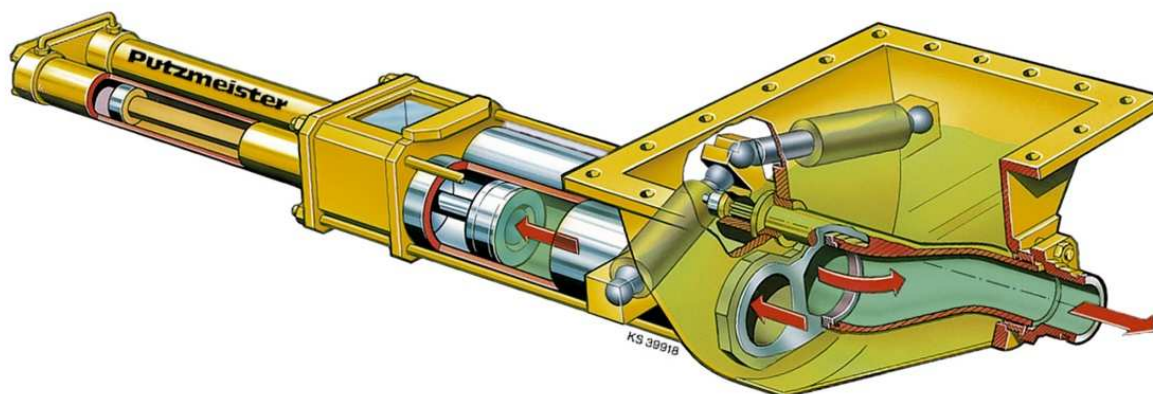


Abbildung 3: Rohrweichenpumpe

Quelle: Putzmeister Solid Pumps

¹¹ vgl. (Frey, 1995) S. 9

Einsatzgebiete von Rohrweichenpumpen sind:

- Förderungen von Beton und Mörtel
- Förderung von Schlämmen (mit bis zu 50 Gew.-% Trockenstoffgehalt)
- Förderung von Suspensionen mit Feststoffen wie Flugasche, Kohle oder Mineralien¹²

3.2.2.2 Sitzventilpumpe

Wesentliche Konstruktionsmerkmale sind vier hydraulisch gesteuerte Sitzventile, wobei zwei als Druckventile und zwei als Saugventile fungieren.

Diese Ventile werden mit jeweils einem Hydraulikzylinder angetrieben und gesteuert. Diese Saug- und Druckventile des Pumpenkopfes sind mit der Hydraulik der Förderkolben abgestimmt, somit ergibt sich das Fördervolumen aus dem Förderzylinderinhalt.

Bei Erreichen des Hubendes des ansaugenden Kolbens wird das betreffende Saug- bzw. Druckventil gleichzeitig hydraulisch geschlossen bzw. geöffnet.¹³

Abbildung 4 zeigt eine Sitzventilpumpe.

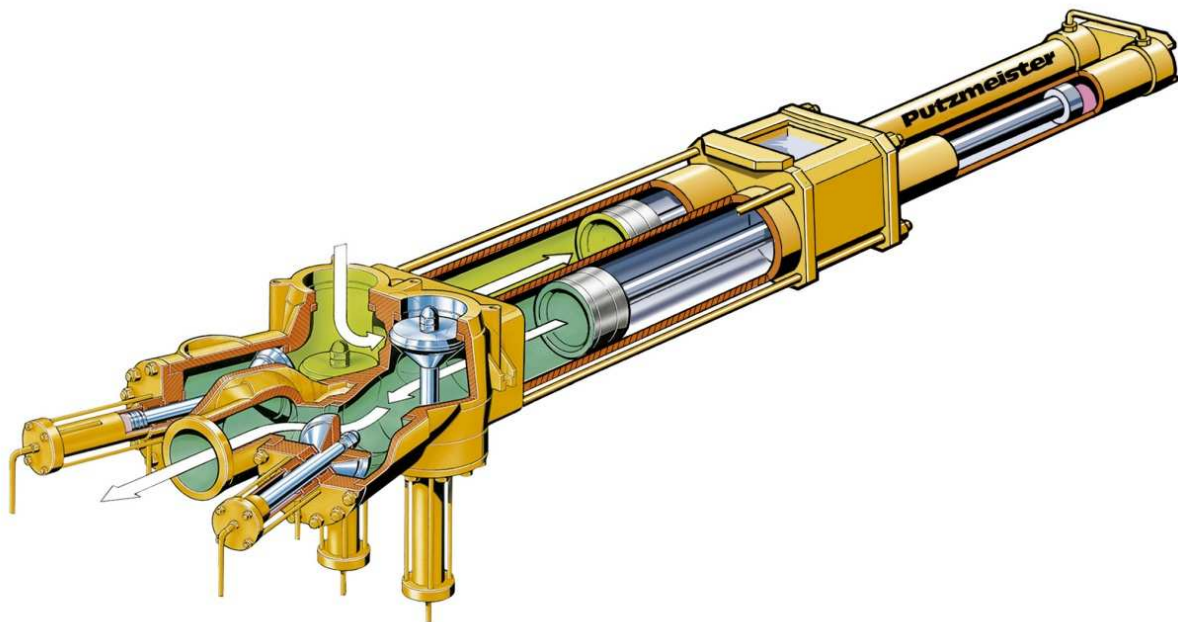


Abbildung 4: Sitzventilpumpe

Quelle: Putzmeister Solid Pumps

¹² vgl. (Frey, 1995) S. 10

¹³ vgl. (Frey, 1995) S. 12

Einsatzgebiete von Sitzventilpumpen sind:

- Förderung von Industrieabfällen wie Schlämme (bis 40 Gew.-% Tsg)
- Beschickung von Klärschlammverbrennungsanlagen¹⁴
- Förderung von Suspensionen mit Feststoffen wie Flugasche, Kohle oder Mineralien

3.2.2.3 Kugelventilpumpe

Wesentliche Konstruktionsmerkmale sind vier Kugelventile. Durch das Einfahren des Kolbens wird das Material durch das offene Kugelventil in der Saugleitung gesaugt.

Dabei schließt sich durch die Sogwirkung und den dabei entstehenden Unterdruck das Kugelventil auf der Druckseite.

Beim Ausfahren des Kolbens wird das Material aus dem Zylinder, durch das offene Kugelventil in der Druckleitung gepumpt. Die Kugel in der Saugleitung wird aufgrund des Förderdrucks in den Sitz gedrückt und dichtet somit die Saugleitung ab.¹⁵

Abbildung 5 zeigt eine Kugelventilpumpe.

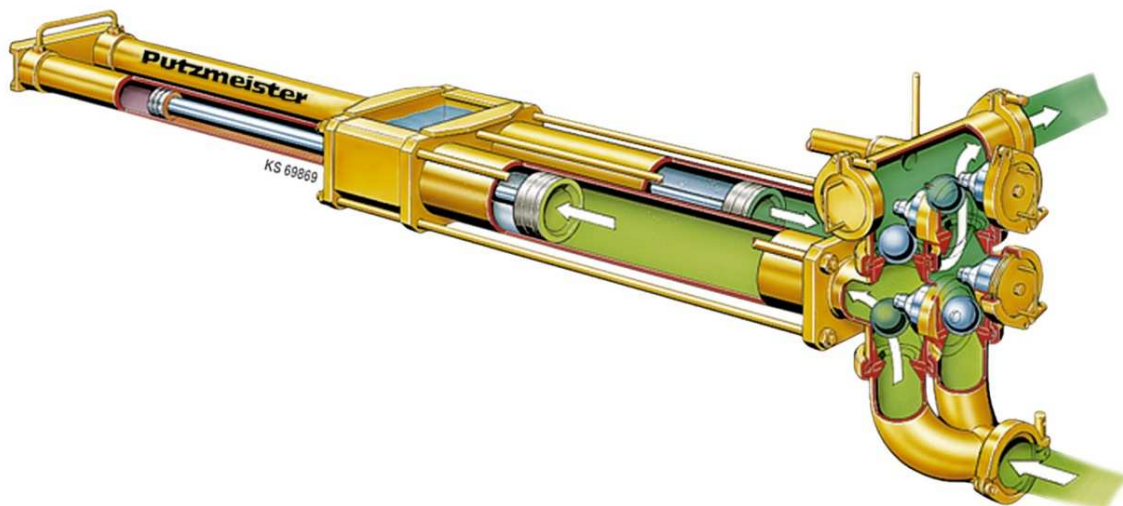


Abbildung 5: Kugelventilpumpe

Quelle: Putzmeister Solid Pumps

Einsatzgebiet von Kugelventilpumpen ist:

- Förderung von dünnflüssigen Stoffen wie Mörtel und Klärschlämme¹⁶

¹⁴ vgl. (Frey, 1995) S. 13

¹⁵ vgl. (Frey, 1995) S. 14

3.2.2.4 Kolbenpumpe

Bei eingefahrenen Kolben gelangt das Material aus dem Aufgabetrichter in den Zylinder. Beim Ausfahren des Kolbens wird der Dickstoff, bei geöffneter Absperrklappe in die Rohrleitung gepresst.

Bei Einfahren des Kolbens schließt sich der Absperrschieber in der Druckleitung, um ein „Zurückfließen“ des Materials in den Zylinderraum zu verhindern.

Bei der Förderung von ungesättigten Gütern besteht die Möglichkeit einer Hybridförderung. Dabei wird Druckluft als „Pumphilfe“ eingeblasen, welche den Materialpfropfen in die Druckleitung presst.¹⁷

Bei der Expansion der Druckluft wird das Fördergut aufgelockert und zerteilt.

Abbildung 6 zeigt eine Kolbenpumpe.

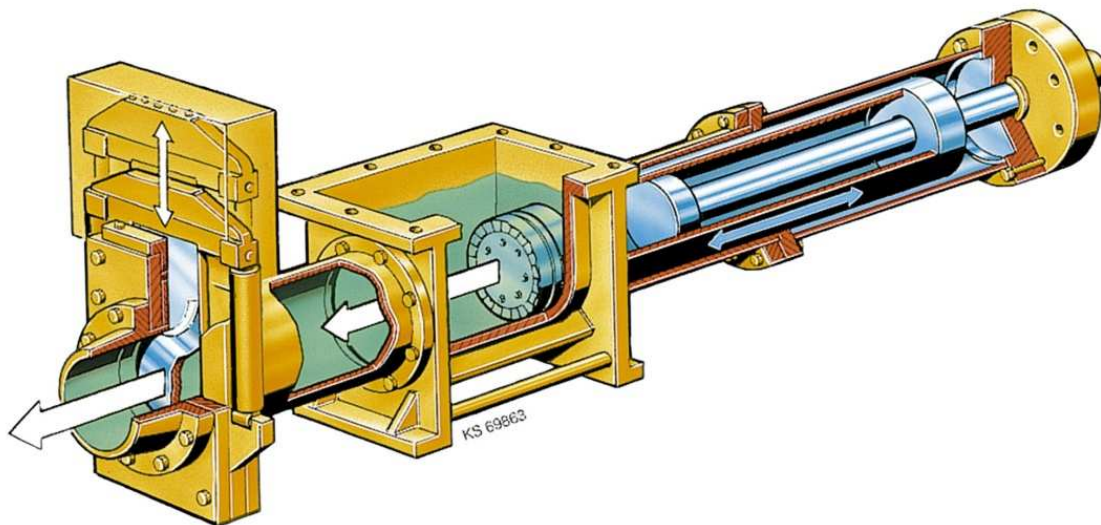


Abbildung 6: Kolbenpumpe

Quelle: Putzmeister Solid Pumps

Einsatzgebiete von Kolbenpumpen sind:

- Förderung von Schüttgütern wie Holzspäne und Papierschnitzel
- Förderung von Biomasse¹⁸

¹⁶ vgl. (Frey, 1995) S. 15

¹⁷ vgl. (Frey, 1995) S. 15

¹⁸ vgl. (Frey, 1995) S. 16

3.2.2.5 Kalottenpumpe

Wesentliches Konstruktionsmerkmal der Kalottenpumpe ist die sogenannte Kalotte. Ein Kugelsegment, welches, abgestimmt mit dem Förderkolben, die Saug- und Drucköffnung verschließt.

Führt der Förderzylinder den Saughub durch, verschließt die Kalotte die Drucköffnung, das Fördermedium strömt in den Zylinderraum ein, beim anschließenden Druckhub wandert die Kalotte mittels Drehbewegung zur Saugöffnung und verschließt diese. Das Fördermedium strömt aus dem Förderzylinder durch die Drucköffnung in die Rohrleitung.¹⁹

Abbildung 7 zeigt eine Kalottenpumpe.

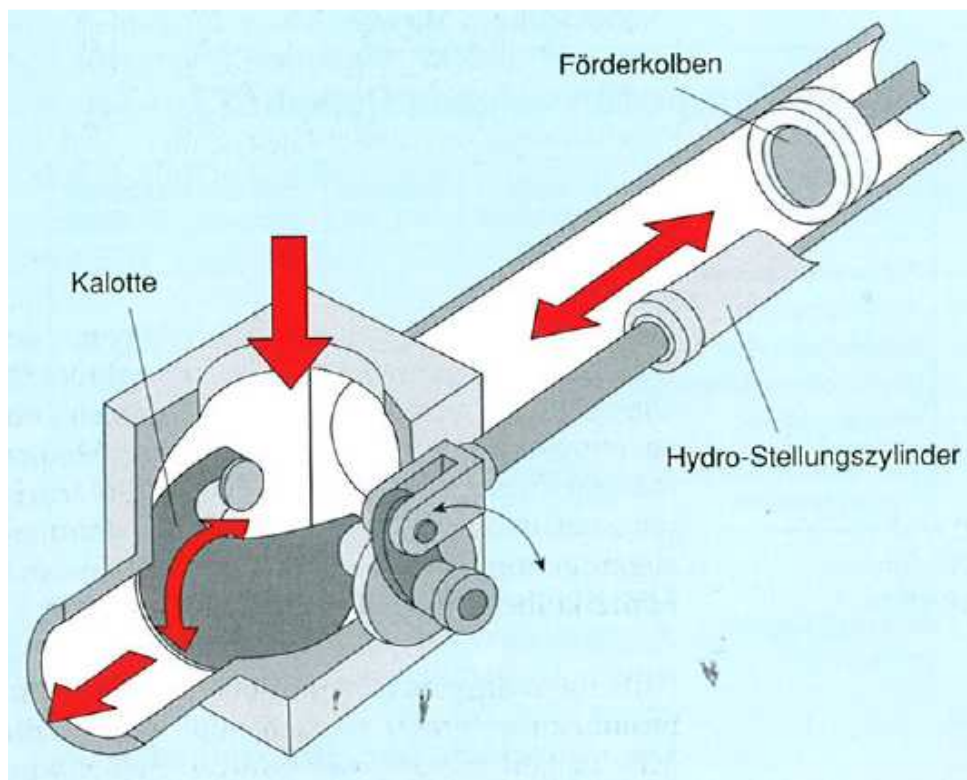


Abbildung 7: Kalottenpumpe

Quelle: Dickstoffpumpen - Aufbau und Anwendung

Einsatzgebiete von Kalottenpumpen sind:

- Förderung von Medien mit einem Trockenstoffgehalt von < 20 Gew.-%
- Förderung von dickflüssigen Suspensionen mit geringem Feststoffanteil und minimaler Körnung²⁰

¹⁹ vgl. (Frey, 1995) S. 17

²⁰ vgl. (Frey, 1995) S. 18

3.2.2.6 Vergleich Dickstoffpumpen

Tabelle 5 : Vergleich Dickstoffpumpen

Bauart \ Medium	steifer Dickstoff	wässriger Dickstoff	Fremdkörper	schüttiger Dickstoff
Rohrweichenpumpe	+++	++	++	-
Sitzventilpumpe	++	+++	-	-
Kugelventilpumpe	+	++	-	-
Einzylinder-Kolbenpumpe	+++	-	+++	+++
Kalottenpumpe	+	+	+	-

Quelle: Frey: Dickstoffpumpen - Aufbau und Anwendung

+++ sehr gut geeignet ++ gut geeignet + bedingt geeignet - nicht geeignet

3.2.2.7 Auswahl einer geeigneten Dickstoffpumpe

Ordnet man das in der aktuellen Aufgabenstellung zu fördernde Medium der obenstehenden Tabelle 5 zu, so ist dieses eine Mischung aus „steifen“ und „wässrigen“ Dickstoff mit Fremdkörpern bzw. einem hohen Anteil an Feststoffen.

Vergleicht man die Dickstoffpumpen miteinander, so zeigt sich, dass sich eine Rohrweichenpumpe sehr gut für diese Anwendung eignen würde.

4. Ermittlung der Fördermedieneigenschaften

4.1 Medieneigenschaften

Um die Dickstoffpumpe genau für die vorliegende Anwendung abstimmen und richtig auslegen zu können, ist es sehr wichtig, dass die Eigenschaften des zu fördernden Mediums bekannt sind.

Aus diesem Grund wurde eine Analyse des Fördermediums durchgeführt, in der alle, für die Pumpenauslegung relevanten, Stoffdaten ermittelt wurden.

4.1.1 Siebanalyse/ Korngrößenverteilung

Um die Pumpfähigkeit eines Mediums zu bestimmen, ist die Sieblinie bzw. eine Siebanalyse entscheidend.

Diagramm 3 zeigt die ideale Korngrößenverteilung einer Suspension. Die Körnung des zu fördernden Mediums sollte möglichst im gelben Bereich bzw. dicht daran liegen.²¹

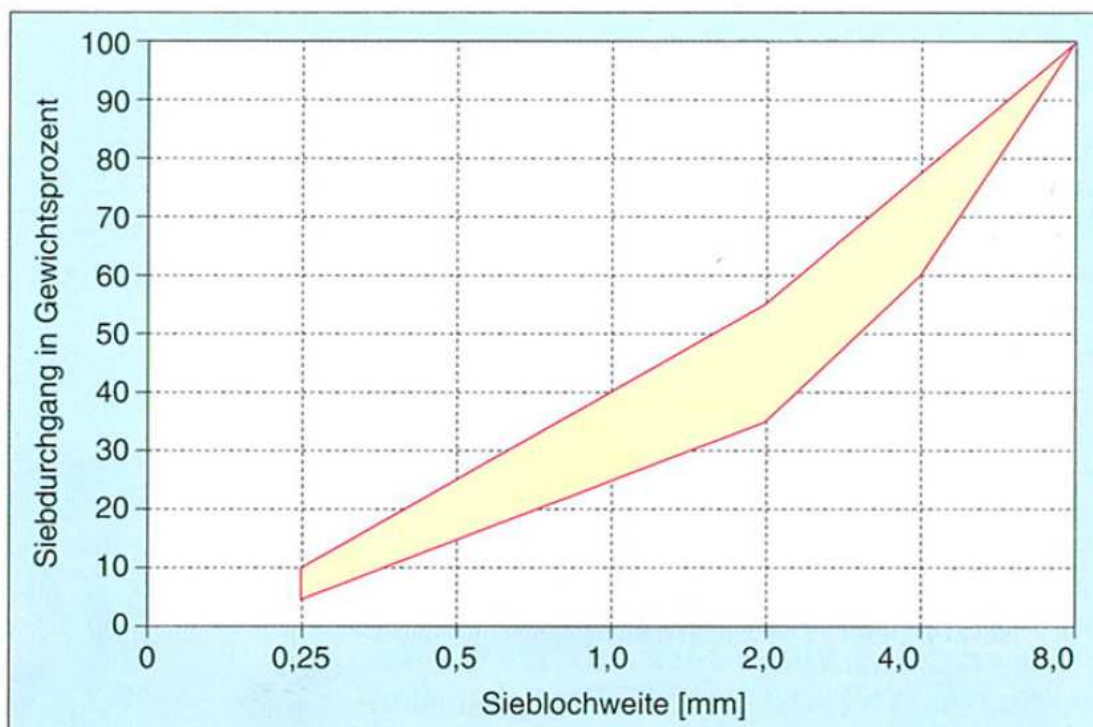


Diagramm 3 : Siebdurchgang in Abhängigkeit von d. Sieblochweite

Quelle: Frey: Dickstoffpumpen - Aufbau und Anwendung

²¹ vgl. (Frey, 1995) S. 37

Die Siebanalyse des zu fördernden Stoffes erfolgte mit dem Nass-Siebverfahren. Dabei wurde eine definierte Menge des Mediums eingewogen und in den Siebturm eingebracht. Die Partikel wurden dann mit demineralisiertem Wasser durch die einzelnen Siebfraktionen gespült. Der Rückstand in den einzelnen Sieben wurde bei 105°C getrocknet und rückverwogen. Dieser Vorgang wurde 3 Mal durchgeführt, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Diagramm 4 zeigt die Korngrößenverteilung des Fördermediums.

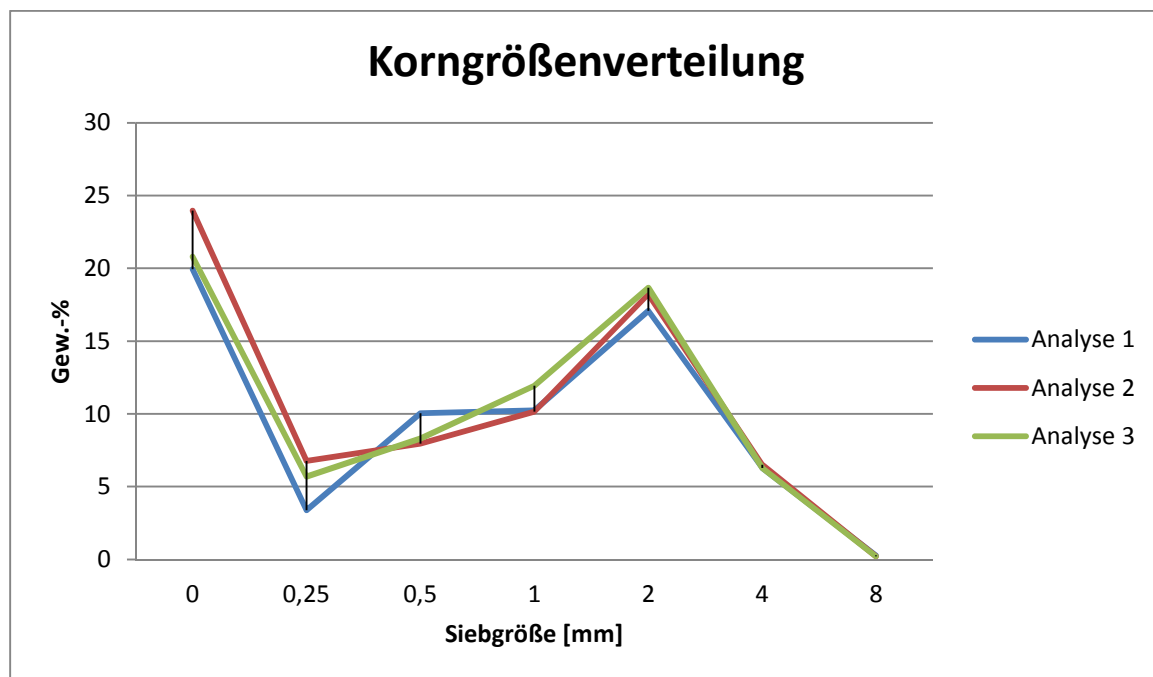


Diagramm 4 : Siebanalyse Fördermedium

eigene Quelle

Vergleicht man Diagramm 3 mit Diagramm 4, so lassen sich Übereinstimmungen finden. So ist der Anteil an Grobteilen (8mm) sehr gering, die Anteile der Mittelfraktion (0,5mm-4mm) annähernd gleich. Der Anteil an Feinteilen liegt jedoch deutlich außerhalb und ist um ein Vielfaches höher.

Dieser Anteil an Feinkorn unter 0,5 mm ist jedoch sehr wichtig. Würde dieser Anteil fehlen, ließe sich die Suspension nicht pumpen, da der Grobkornanteil sehr schnell sedimentiert oder beim Ansaugen der Pumpe ein Entwässerungseffekt auftritt.²²

²² Vgl. (Frey, 1995) S. 38








 <p>Korngröße $\geq 8\text{mm}$</p>	 <p>Korngröße 1- 0,5mm</p>
 <p>Korngröße 8- 4mm</p>	 <p>Korngröße 0,5-0,25 mm</p>
 <p>Korngröße 4- 2mm</p>	 <p>Korngröße 0,25-0,1 mm</p>
 <p>Korngröße 2- 1mm</p>	

Abbildung 9 : Korngrößenverteilung

eigene Quelle

4.1.2 pH-Wert

Der pH-Wert dient zur Auswahl eines geeigneten Pumpenwerkstoffes.

Der pH-Wert wurde mit einem Standard pH-Meter und der dazugehörigen pH-Elektrode bei 20 °C und 1 bar(a) durchgeführt. Auch hier wurde der Vorgang drei Mal durchgeführt. Aus den drei Messergebnissen wurde der arithmetische Mittelwert gebildet.

	pH-Wert (20°C / 1bar(a))
Messung 1	7,70
Messung 2	7,61
Messung 3	7,66
Mittelwert	7,65

4.1.3 Dichte des Feststoffes

Die Dichtebestimmung der Probe erfolgte mit einem Pyknometer bei 20°C und 1 bar(a), wobei Isopropanol als Referenzlösung verwendet wurde.

Die Dichte des Feststoffes ρ_s errechnet sich mit der Formel:

$$\rho_s = \frac{(m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)} \times \rho \quad (4.1)$$

$$\rho_s = \frac{(75,6461 - 63,5737)}{(141,0925 - 63,5737) - (151,931 - 75,6461)} \times 0,795 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_s = 7,7782 \frac{g}{cm^3}$$

m_0 Masse des leeren Pyknometers

m_1 Masse des der Referenzlösung gefüllten Pyknometers

m_2 Masse des Pyknometers mit dem Festkörper

m_3 Masse des Pyknometers mit Festkörper und der Referenzlösung

ρ Dichte der Referenzlösung

4.1.4 Feststoffanteile/ Filtrationsrückstand

Für die Bestimmung der Feststoffanteile wurde ein Papierfilter Macherey-Nagel verwendet.

Einwaage Probe [g]	Filter [g]	Becherglas [g]	Gesamt [g]	Auswaage Probe [g]	Gesamtrestmenge [g]	Differenz [g]	Anteil [Gew.-%]
100,52	2,23	112,44	215,19	65,78	180,45	34,74	65,44
202,77	2,24	114,34	319,35	120,22	236,8	82,55	59,29
94,06	2,22	113,15	209,43	59,87	175,24	34,19	63,65
					Mittelwert:		62,79

4.1.5 Viskosität und Dichte des Filtrates

Die Viskosität und die Dichte des Filtrates wurde mit einem Stabinger-Viskosimeter bei einer Temperatur von 20°C und einem Druck von 1bar(a) ermittelt.

	Dichte des Filtrates [g/m ³]	Viskosität des Filtrates [mPa*s] [mm ² / s]	
	1.0675 1.0676 1.0677	1.3439 1.3182 1.3093	1.2588 1.2347 1.2263
Mittelwert	$\rho_F = 1.07$	$\nu_F = 1.32$	$\eta_F = 1.24$

4.1.6 Viskosität der Suspension

Die Viskosität und das Fließverhalten des Mediums konnten für diesen Anwendungsfall nicht bestimmt werden, diese fehlenden Werte werden für die nachfolgenden Berechnungen, rechnerisch ermittelt.

5. Dimensionierung der Pumpe

5.1 Fördermenge

Die erforderliche Fördermenge der Dickstoffpumpe ergibt sich aus der Menge an Beschickungsmaterial, welches in den Öfen durchgesetzt werden soll. Es hat sich gezeigt, dass der Prozess im Ofen bei einer Eintragsmenge von ca. 75 kg/h optimal abläuft. Jedoch kann es auch vorkommen, dass aufgrund wechselnder Rohstoffqualitäten und unterschiedlicher Materialzusammensetzung die Eintragsmenge entsprechend angepasst werden muss.

Folgende Massenströme sollen für die Dimensionierung der Dickstoffpumpe als Grundlage dienen.

$$\dot{m}_{erfnenn} = 75 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{erfmax} = 90 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{erfmin} = 55 \frac{kg}{h}$$

$\dot{m}_{erfnenn}$erforderlicher Nennmassenstrom

\dot{m}_{erfmax}erforderlicher max. Massenstrom

\dot{m}_{erfmin}erforderlicher min. Massenstrom

Die Dichte der Feststoffe des Fördermaterials wurde durch Analysen ermittelt.

$$\rho_S = 7,789 \frac{kg}{dm^3}$$

ρ_SDichte der Feststoffe des Fördermaterials

Mit Hilfe der ermittelten Dichte können die erforderlichen Volumenströme errechnet werden.

$$\dot{V}_{erfnenn} = \frac{\dot{m}_{erfnenn}}{\rho_s} \quad (5.0)$$

$$\dot{V}_{erfnenn} = \frac{75}{7,77} \frac{\frac{kg}{h}}{\frac{kg}{dm^3}}$$

$$\dot{V}_{erfnenn} = 9,65 \frac{dm^3}{h}$$

$\dot{V}_{erfnenn}$ erforderlicher Nennvolumenstrom

$$\dot{V}_{erfmax} = \frac{\dot{m}_{erfmax}}{\rho_s}$$

$$\dot{V}_{erfmax} = \frac{90}{7,77} \frac{\frac{kg}{h}}{\frac{kg}{dm^3}}$$

$$\dot{V}_{erfmax} = 11,58 \frac{dm^3}{h}$$

\dot{V}_{erfmax} erforderlicher max. Volumenstrom

$$\dot{V}_{erfmin} = \frac{\dot{m}_{erfmin}}{\rho_s}$$

$$\dot{V}_{erfmin} = \frac{55}{7,77} \frac{\frac{kg}{h}}{\frac{kg}{dm^3}}$$

$$\dot{V}_{erfmin} = 7,07 \frac{dm^3}{h}$$

\dot{V}_{erfmin} erforderlicher min. Volumenstrom

Die Dickstoffpumpe soll so ausgelegt werden, dass der Tagesbedarf an Material in einer akzeptablen Zeitspanne zu den Öfen gefördert wird. Das heißt, dass die Menge an Fördermaterial nicht in 24h kontinuierlich gefördert werden soll, sondern in nur 20 Minuten.

Als Berechnungsgrundlage wird der maximale Volumenstrom herangezogen, damit der Maximalbedarf an Material gedeckt werden kann.

$$\dot{V}_{erfmax} = 11,58 \frac{dm^3}{h} \quad \text{pro Ofen}$$

Der Tagesbedarf $\dot{V}_{erfmaxd}$ pro Ofen errechnet sich aus:

$$\dot{V}_{erfmaxd} = \dot{V}_{erfmax} \times t_b \quad (5.1)$$

$$\dot{V}_{erfmaxd} = 11,58 \frac{dm^3}{h} \times 24$$

$$\dot{V}_{erfmaxd} = 277,92 \frac{dm^3}{d}$$

t_bAnzahl der Betriebsstunden

Dadurch dass ein Pumpvorgang nur 20 Minuten dauert, können Überschneidungen der Beschickungsvorgänge der Öfen vermeiden werden. So können die Dosierungen hintereinander und nicht parallel erfolgen. Vorteil ist, dass die erforderliche Menge genau zu dem jeweiligen Ofen gefördert werden kann.

Die Feststoff-Fördermenge \dot{Q}_S der Pumpe ergibt sich somit:

$$\dot{Q}_S = \dot{V}_{erfmaxd} \times 24 \times 3 \quad (5.2)$$

$$\dot{Q}_S = 20010,24 \frac{dm^3}{h}$$

5.1.1 Berechnung der Massenanteile des Fördermediums

Der Massenanteil ist ein Maß für die Zusammensetzung eines Mediums. In diesem Fall setzt sich das Medium aus einem Anteil aus Feststoffen und einem Flüssigkeitsanteil zusammen.

Der Gesamtfeststoffvolumenstrom der Dickstoffpumpe ist gegeben.

$$\dot{Q}_S = 20010,24 \frac{dm^3}{h}$$

Für den Feststoffanteil gilt:

$$\varrho_S = \frac{\dot{m}_S}{\dot{V}_S} \quad (5.3)$$

$$\dot{m}_S = \varrho_S \times \dot{V}_S$$

\dot{m}_SMassenstrom der Feststoffe

\dot{V}_SVolumenstrom der Feststoffe

Der Feststoffgehalt des Mediums wurde mit 63 Gew. % ermittelt.

Daraus folgt:

$$\dot{m}_S = 0,63 \times \dot{m}_{ges}$$

$$\dot{V}_S = \dot{V}_{ges} \times 0,63$$

$$\dot{V}_{ges} = \frac{\dot{V}_S}{0,63}$$

$$\dot{V}_{ges} = 31,75 \frac{m^3}{h}$$

Und für den Flüssigkeitsanteil gilt:

$$\varrho_F = \frac{\dot{m}_F}{\dot{V}_F} \quad (5.4)$$

$$\dot{m}_F = \varrho_F \times \dot{V}_F$$

\dot{m}_FMassenstrom der Flüssigkeit

\dot{V}_FVolumenstrom der Flüssigkeit

$$\dot{m}_F = 0,37 \times \dot{m}_{ges}$$

$$\dot{V}_F = \frac{0,37}{\varrho_F} \times \dot{m}_{ges}$$

Daraus ergibt sich:

$$\dot{V}_{ges} = \dot{V}_S + \dot{V}_F \quad (5.5)$$

$$\dot{V}_{ges} = \frac{0,63}{\varrho_S} \times \dot{m}_{ges} + \frac{0,37}{\varrho_F} \times \dot{m}_{ges}$$

$$\dot{m}_{ges} = \frac{\dot{V}_{ges}}{\frac{0,63}{\varrho_S} \times \frac{0,37}{\varrho_F}}$$

$$\dot{m}_{ges} = \frac{31750}{\frac{0,63}{7,789} \times \frac{0,37}{1,070}} \frac{\frac{m^3}{h}}{\frac{kg}{m^3} \times \frac{kg}{m^3}}$$

$$\dot{m}_{ges} = 74412 \frac{kg}{h} \triangleq 20,67 \frac{kg}{s}$$

Der Gesamtmassenstrom des Mediums \dot{m}_{ges} setzt sich aus \dot{m}_S und \dot{m}_F zusammen.

Massenstrom der Feststoffe:

$$\dot{m}_S = 0,63 \times \dot{m}_{ges}$$

$$\dot{m}_S = 0,63 \times 74412 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_S = 46879 \frac{kg}{h} \triangleq 13,02 \frac{kg}{s}$$

Massenstrom der Flüssigkeit:

$$\dot{m}_F = 0,37 \times \dot{m}_{ges}$$

$$\dot{m}_F = 0,37 \times 74412 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_F = 27532,44 \frac{kg}{h} \triangleq 7,64 \frac{kg}{s}$$

5.2 Zylinder-/Kolbengröße

Standardgemäß gibt es folgende Förderkolbenabmessungen bei Dickstoffpumpen zur Auswahl.

Tabelle 6: Hubvolumen [l] in Abhängigkeit von Förderzylinderdurchmesser und Pumpenhub

Förderzylinderdurchmesser [mm]	Pumpenhub [mm]		
	1000	1400	2100
120	11,3	15,8	23,7
150	17,6	24,7	37,1
180	25,4	35,6	53,4
200	31,4	44,0	65,4
230	41,5	58,1	87,2
280	61,5	86,2	129,3

Quelle: Frey: Dickstoffpumpen - Aufbau und Anwendung

Mit diesen Angaben soll geprüft werden, welcher Förderzylinder für diese Anwendung gewählt werden soll.

Dazu werden der kleinste, ein mittlerer und der größte Förderzylinder verglichen.

5.2.1 Berechnung der effektiven Hubvolumen

Nachdem nicht davon ausgegangen werden kann, dass der Förderzylinder bei jedem Hub zu 100% mit Material gefüllt ist, muss ein Abminderungsfaktor, der sogenannte Füllgrad f_g , in die Berechnung einbezogen werden.²³

Bereich des Füllgrades: $0 \leq f_g \leq 1$

Für diese Anwendung wird ein Füllgrad von 0,8 gewählt, da bei körnigem Fördermaterial die Abstände zwischen den Partikeln größer sind, als wie bei Schlämmen oder pastösen Medien.

Mit diesem Abminderungsfaktor ergeben sich folgende effektive Hubvolumen der Förderzylinder:

$$V_{Heff} = V_{theo} \times f_g \quad (5.6)$$

²³ vgl. (Frey, 1995) S. 45

Förderkolbendurchmesser Zylinder 1:

$$d_{kZ1} = 120\text{mm}$$

Pumpenhub Zylinder 1:

$$l_{HZ1} = 1000\text{mm}$$

Hubvolumen Zylinder 1:

$$V_{HtheoZ1} = 11,3 \text{ dm}^3$$

Effektives Hubvolumen Zylinder 1:

$$V_{HeffZ1} = V_{HtheoZ1} \times fg$$

$$V_{HeffZ1} = 11,3 \text{ dm}^3 \times 0,8$$

$$V_{HeffZ1} = 9,04 \text{ dm}^3$$

Förderkolbendurchmesser Zylinder 2:

$$d_{kZ2} = 180\text{mm}$$

Pumpenhub Zylinder 2:

$$l_{HZ2} = 1400\text{mm}$$

Hubvolumen Zylinder 2:

$$V_{HtheoZ2} = 35,6 \text{ dm}^3$$

Effektives Hubvolumen Zylinder 2:

$$V_{HeffZ2} = V_{HtheoZ2} \times fg$$

$$V_{HeffZ2} = 35,6 \text{ dm}^3 \times 0,8$$

$$V_{HeffZ2} = 28,48 \text{ dm}^3$$

Förderkolbendurchmesser Zylinder 3:

$$d_{kZ3} = 280\text{mm}$$

Pumpenhub Zylinder 3:

$$l_{HZ3} = 2100\text{mm}$$

Hubvolumen Zylinder 3:

$$V_{HtheoZ3} = 129,3 \text{ dm}^3$$

Effektives Hubvolumen Zylinder 3:

$$V_{HeffZ3} = V_{HtheoZ3} \times fg$$

$$V_{HeffZ3} = 129,3 \text{ dm}^3 \times 0,8$$

$$V_{HeffZ3} = 103,44 \text{ dm}^3$$

5.2.2 Berechnung der Hubanzahl

Das Verhältnis aus Fördermenge und effektivem Hubvolumen der Zylinder ergibt die Anzahl der Hübe pro Stunde.

Da die ausgewählte Pumpe eine Zweizylinder-Kolbenpumpe ist, ist der errechnete Wert durch den Faktor 2 zu dividieren um die Anzahl der Hübe der Pumpe zu erhalten.

$$n_P = \frac{\dot{Q}_{PSP}}{V_H} \quad (5.7)$$

$$n_H = \frac{n_P}{2} \quad (5.8)$$

n_H ...Anzahl der Hübe pro Zylinder

n_P ...Anzahl der Hübe der Pumpe

Die Anzahl der Hübe der Pumpe soll im Bereich $5 \leq n_P \leq 25$ liegen.²⁴

Hubanzahl Zylinder 1:

$$n_{PZ1} = \frac{\dot{V}_{ges}}{V_{HeffZ1}}$$

²⁴ vgl. (Frey, 1995) S. 47

$$n_{PZ1} = \frac{31750 \frac{dm^3}{h}}{9,04 \frac{dm^3}{1}}$$

$$n_{PZ1} = 3512,16 \text{ h}^{-1} \approx 3513 \text{ h}^{-1} \cong 58,55 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{HZ1} = \frac{n_{HZ1}}{2}$$

$$n_{HZ1} = 29 \text{ min}^{-1}$$

Hubanzahl Zylinder 2:

$$n_{PZ2} = \frac{\dot{V}_{ges}}{V_{HeffZ2}}$$

$$n_{PZ2} = \frac{31750 \frac{dm^3}{h}}{28,48 \frac{dm^3}{1}}$$

$$n_{PZ2} = 1114,81 \text{ h}^{-1} \approx 1115 \text{ h}^{-1} \cong 18,5 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{HZ2} = \frac{n_{HZ2}}{2}$$

$$n_{HZ2} = 9,25 \text{ min}^{-1}$$

Hubanzahl Zylinder 3:

$$n_{PZ3} = \frac{\dot{V}_{ges}}{V_{HeffZ3}}$$

$$n_{PZ3} = \frac{31750 \frac{dm^3}{h}}{103,44 \frac{dm^3}{1}}$$

$$n_{PZ3} = 306,94 \text{ h}^{-1} \approx 307 \text{ h}^{-1} \cong 5 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{PH3} = \frac{n_{HZ3}}{2}$$

$$n_{HZ3} = 2,5 \text{ min}^{-1}$$

Dieser Vergleich zeigt, dass Zylindervariante 2 für diese Anwendung geeignet wäre, um die erforderliche Fördermenge mit einer annehmbaren Anzahl an Hügen der Pumpe zu realisieren.

5.3 Berechnung des Antriebskolbens

Jeder Kolben unterteilt sich in den hydraulisch betriebenen Antriebszylinder und in den Förderzylinder, welcher das Medium in die Rohrleitung drückt.

Antriebs- und Förderkolben von Dickstoffpumpen sind meist unterschiedlich groß. Die unterschiedlichen Dimensionen beschreibt das Verhältnis aus Förderkolbenquerschnitt und der wirksamen Antriebskolbenfläche. Dieses Verhältnis wird Pumpenübersetzungsverhältnis i genannt.²⁵

$$i = \frac{A_F}{A_A} \quad (5.9)$$

A_Awirksame Antriebskolbenfläche

A_FFörderkolbenquerschnitt

Bereich des Pumpenübersetzungsverhältnisses: $2 \leq i \leq 3$ ²⁶

Mit Hilfe des Pumpenübersetzungsverhältnisses und des Förderdruckes lässt sich der Antriebskolben berechnen.

$$A_A = \frac{A_F}{i}$$

$$A_A = \frac{\frac{d_{KFZ}^2 \times \pi}{4}}{2}$$

$$A_A = \frac{\frac{32400 \times \pi}{4}}{2} \text{ mm}^2$$

$$A_A = 12723,45 \text{ mm}^2$$

d_{KFZ}Förderkolbendurchmesser

Aus der wirksamen Antriebskolbenfläche lässt sich der Antriebskolbendurchmesser d_{KAZ} bestimmen.

$$d_{KAZ} = \sqrt{\frac{4 A_A}{\pi}}$$

$$d_{KAZ} = \sqrt{\frac{50893,8}{\pi}}$$

²⁵ vgl. (Frey, 1995) S. 43

²⁶ vgl. (Frey, 1995) S. 44

$$d_{KAZ} = 127,27 \text{ mm} \approx 128 \text{ mm}$$

5.4 Berechnung des Ölvolumenstromes

Mit der Fördermenge der Dickstoffpumpe und dem Übersetzungsverhältnis i lässt sich der Ölvolumenstrom $\dot{Q}_{\ddot{O}l}$ ermitteln.

$$\dot{Q}_{\ddot{O}l_{theo}} = \frac{\dot{V}_{ges}}{i} \quad (5.10)$$

$$\dot{Q}_{\ddot{O}l_{theo}} = \frac{31750}{2} \frac{dm^3}{h}$$

$$\dot{Q}_{\ddot{O}l_{theo}} = 15875 \frac{dm^3}{h} \triangleq 264,6 \frac{dm^3}{min}$$

$$\dot{Q}_{\ddot{O}l} = \frac{\dot{Q}_{\ddot{O}l_{theo}}}{\eta_v} \quad (5.11)$$

$$\dot{Q}_{\ddot{O}l} = \frac{264,5}{0,95} \frac{dm^3}{min}$$

$$\dot{Q}_{\ddot{O}l} = 278,5 \frac{dm^3}{min}$$

η_vvolumetrischer Wirkungsgrad (0,9-0,95)²⁷

5.5 Berechnung des Druckverlustes nach Brauer

Zur Bestimmung des benötigten Pumpenförderdruckes ist es erforderlich, den Rohrleitungsdruckverlust zu berechnen. Druckverluste in Rohrleitungen entstehen durch Wandreibung und durch innere Fluidreibungen. Das hier zu fördernde Medium kann als nicht newton'sche Flüssigkeit angesehen werden, da es sich hierbei um eine Suspension handelt und diese nicht dem linearen Fließgesetz unterliegt.²⁸

Die Berechnung des Druckverlustes soll nach Brauer durchgeführt werden.

²⁷ vgl. (Bauer, 2009) S.81

²⁸ vgl. (Grote, 2004) B47

5.5.1 Berechnung des Gesamtdruckverlustes

Der insgesamt auftretende Druckverlust bei Förderung von Suspensionen mit einem höheren Feststoffgehalt berechnet sich nach Brauer aus einem Anteil des Druckverlustes verursacht durch den feststofffreien Flüssigkeitsstrom und einem feststoffbedingten Druckverlust.²⁹

So ergibt sich:

$$\Delta_p = \Delta_{pS} + \Delta_{pF} \quad (5.12)$$

Δ_p Gesamtdruckverlust

Δ_{pS} feststoffbedingten Druckverlust

Δ_{pF}flüssigkeitsbedingter Druckverlust

5.5.1.1 Berechnung d. flüssigkeitsbedingten Druckverlustes

Der flüssigkeitsbedingte Druckverlust Δ_{pF} errechnet sich mit:

$$\Delta_{pF} = 0,241 \times l \times \frac{\dot{V}_{gesamt}^{\frac{7}{4}} \times \rho_F^{\frac{3}{4}} \times \eta^{\frac{1}{4}}}{d^{\frac{19}{4}}} \quad (5.13)$$

$$\Delta_{pF} = 0,241 \times 85 \times \frac{0,008819^{\frac{7}{4}} \times 1.070^{\frac{3}{4}} \times 0,001320^{\frac{1}{4}}}{0,1935^{\frac{19}{4}}} / 10^5 \text{ bar}$$

$$\Delta_{pF} = 0,005 \text{ bar}$$

ηdynamische Viskosität Flüssigkeit

5.5.1.2 Berechnung d. feststoffbedingten Druckverlustes

Der feststoffbedingte Druckverlust Δ_{pS} errechnet sich mit:

²⁹ vgl. (Brauer, 1971) S. 540

$$\Delta_{pS} = 0,120 \times l \times C_T \times \dot{\omega}_S \times (\varrho_S - \varrho_F) \times g \times \frac{d^{\frac{5}{3}} \times \varrho_S^{\frac{1}{3}}}{\dot{V}^{\frac{2}{3}} \times \eta^{\frac{1}{3}}} \quad (5.14)$$

Dazu muss zuerst die Ablagerungsgeschwindigkeit, Sinkgeschwindigkeit und die Transportkonzentration berechnet werden.

Die Ablagerungsgeschwindigkeit sollte geringer sein als die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr, ansonsten kann es zu unerwünschten Ablagerungen in den Rohrleitungen kommen. Da in diesem Anwendungsfall der Pumpvorgang jedoch nur 20 Minuten pro Ofen dauert, können Spülzyklen zwischen den einzelnen Pumpvorgängen durchgeführt werden und so Ablagerungen beseitigt werden.

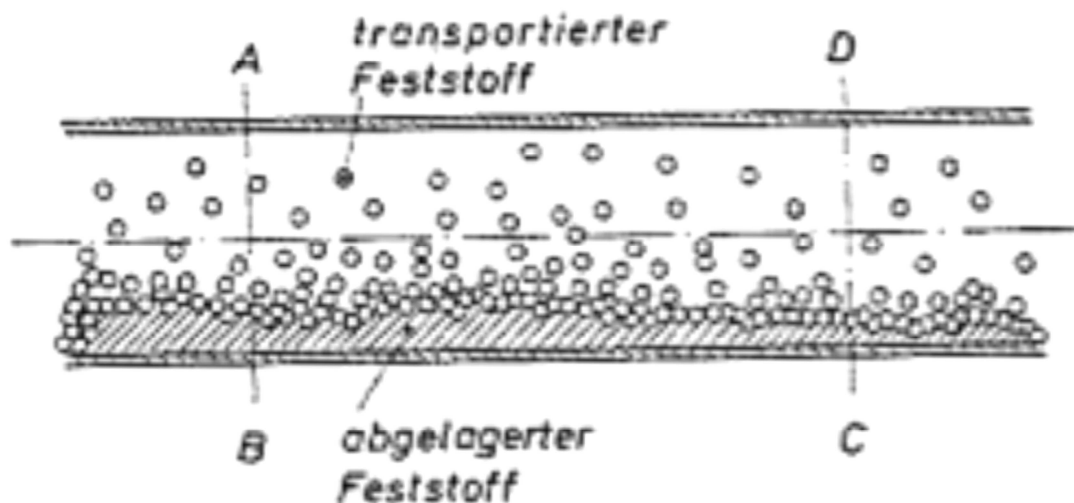


Abbildung 10: Rohrausschnitt zur Erläuterung der Ablagerungssituation

Quelle: Brauer: Grundlagen der Einphasen- und Mehrphasenströmungen

Für die Berechnung des Druckverlustes ist eine Siebanalyse erforderlich, da der dp_{85} – Wert, welcher den Partikeldurchmesser von 85 % der Partikel beschreibt.³⁰ Dazu soll die existierende Analyse in Hinblick auf die Korngröße als Grundlage dienen.

³⁰ vgl. (Brauer, 1979) S.530

Auf Basis des Ergebnisses des Siebversuches ist in Diagramm 4 die Korngrößenverteilung dargestellt. Darin eingezeichnet sind auch die Werte für den dp_{50} und dp_{85} .

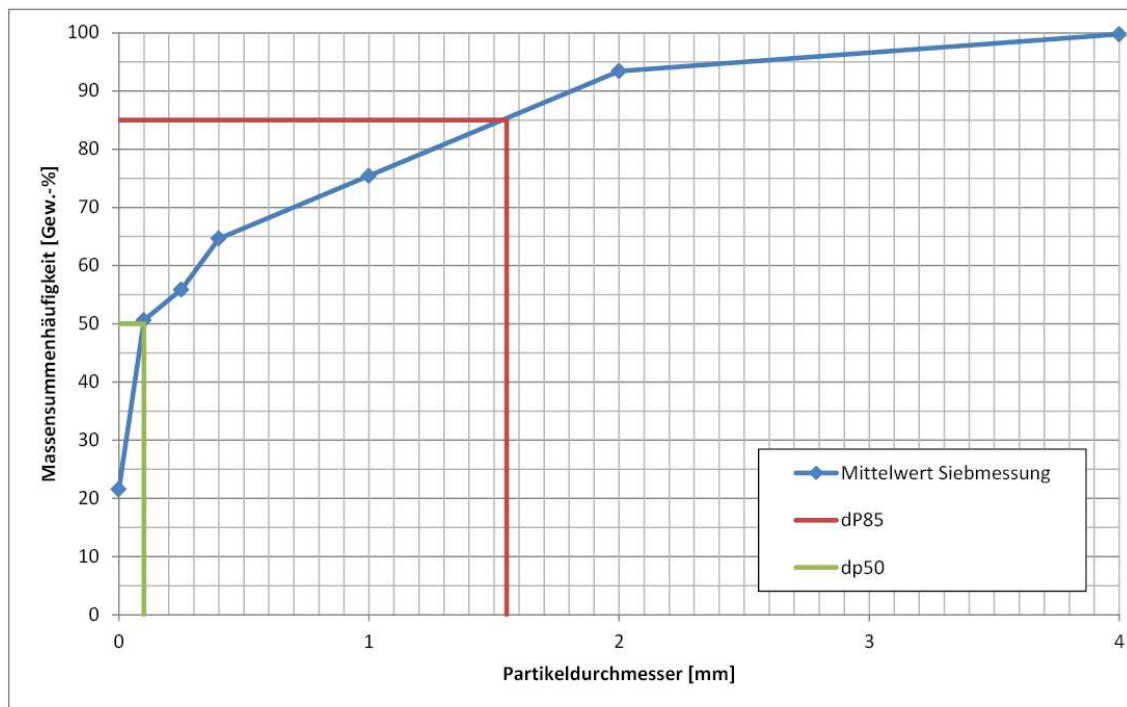


Diagramm 5: Korngrößenverteilung mit dp_{50} und dp_{85} Werten

eigene Quelle

Weiters wird für die Berechnung der sogenannte Formfaktor κ benötigt. Dieser ist eine Kennzahl für die Partikelform.³¹

In Tabelle 7 sind Partikel mit den dazugehörigen Formfaktoren abgebildet.

³¹ vgl. (Brauer, 1971) S.533

Tabelle 7: Partikel mit den Formfaktoren

Zeichen	Feststoff	Korndurchmesser		Sinkgeschwindigkeit		Dichteverhältnis	Formfaktor	Konzentration (maximale)
		d_p (mm)	d_{pm} (mm)	w'_s (m/s)	w'_{sm} (m/s)			
▲	Koks		1,4		0,094	1,43	0,85	21
▼	Koks		1,61		0,076	1,4	0,64	6
◆	Koks		1,67		0,069	1,4	0,57	6
■	Koks		0,45		0,0375	1,72	0,79	14
▣	Koks		1,62		0,0748	1,4	0,62	19
▤	Koks		1,2		0,08	1,46	0,82	20
●	Koks		1,9		0,107	1,44	0,84	
○	Koks		1,44		0,079	1,43	0,72	
◆	Kohle		1,15		0,056	1,38	0,67	15
●	Erz		0,115		0,026	4,62	1	20
●	Erz		0,115		0,026	4,62	1	4,5
⊕	Grobkies	7,63		0,29		2,65	0,4	
△	Sand	3,78		0,20		2,65	0,42	
▽	Sand	2,04		0,151		2,65	0,5	10
◇	Sand	0,44		0,052		2,65	0,69	15
⊠	Sand	0,44		0,052		2,65	0,69	15
◇	Sand	0,44		0,052		2,65	0,69	15
○	Sand	0,44		0,052		2,65	0,69	15
⊕	Sand	0,88		0,095		2,65	0,59	22
⊗	Sand		0,53		0,062	2,65	0,67	24
⊗	Sand		0,27		0,031	2,65	0,76	32

Quelle: Brauer: Grundlagen der Einphasen- und Mehrphasenströmungen

In Diagramm 6 sind Formfaktoren in Abhängigkeit der Korngröße dargestellt.

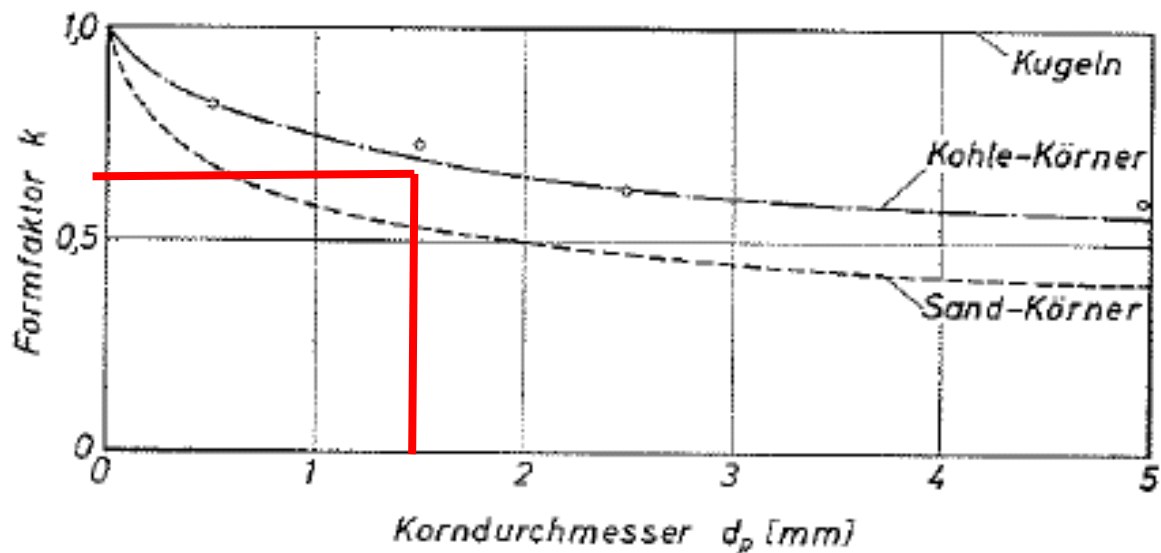


Diagramm 6: Formfaktor in Abhängigkeit der Korngröße

Quelle: Brauer: Grundlagen der Einphasen- und Mehrphasenströmungen

Laut Diagramm 6 ergibt es für diesen Anwendungsfall einen Formfaktor von 0,75.

Die Absetzgeschwindigkeit C_A errechnet sich wie folgt:

$$C_A = \sqrt{\left(\frac{\rho_{solid}}{\rho_{fluid}}\right)^{0,8} \times d_{p85} \times 9,81 \times \frac{1 - \frac{d_{p85}}{D_N}}{\left(0,0015 + 0,2 \times \frac{d_{p85}}{D_N} + 35 \times \left(\frac{d_{p85}}{D_N}\right)^3\right)}} \times k \quad (5.15)$$

$$C_A = \sqrt{\left(\frac{7789}{1000}\right)^{0,8} \times 0,0015 \times 9,81 \times \frac{1 - \frac{0,0015}{200}}{\left(0,0015 + 0,2 \times \frac{0,0015}{200} + 35 \times \left(\frac{0,0015}{200}\right)^3\right)}} \times 0,75$$

$$C_A = 3,45 \frac{m}{s}$$

Die Sinkgeschwindigkeit C_S des freien Kornes errechnet sich mit:

$$C_S = \sqrt{\frac{4 \times g \times d_{p85}}{3 \times \zeta_W}} \times \left(\frac{\rho_S}{\rho_F} - 1\right) \quad (5.16)$$

mit

$$\zeta_W = \frac{24}{Re_S} + \frac{4}{\sqrt{Re_S}} + 0,4 \quad (5.17)$$

und

$$Re_S = \frac{d_{p85} \times C_S}{\nu} \quad (5.18)$$

ζ_W Widerstandsbeiwert

Re_S Reynoldszahl des Sedimentstromes

ν kinematische Viskosität d. Flüssigkeit

Die Sinkgeschwindigkeit wurde iterativ berechnet. Die Werte dazu findet man in Tabelle 8.

Tabelle 8: Iterative Berechnung der Sinkgeschwindigkeit

Sinkgeschwindigkeit [m/s]			
ζ_w	$c_{s,0}$ [m/s]	Re_s	Unterschied
1,0000000000	0,359670	459,192713	
0,638930467	0,449964	574,471104	1251,045777
0,608665861	0,461015	588,580020	1024,559836
0,605652024	0,462161	590,042644	1002,485005
0,605346469	0,462277	590,191541	1000,252349
0,605315434	0,462289	590,206671	1000,025635
0,605312281	0,462290	590,208208	1000,002604
0,605311961	0,462290	590,208364	1000,000265
0,605311928	0,462290	590,208380	1000,000027
0,605311925	0,462290	590,208381	1000,000003
0,605311925	0,462290	590,208381	1000,000000
0,605311925	0,462290	590,208381	1000,000000
0,605311925	0,462290	590,208381	1000,000000

eigene Quelle

Die Werte für die Sinkgeschwindigkeit, der Reynoldszahl und des Widerstandsbeiwertes wurden an der 11ten Stelle gewählt, da eine Wertänderung nicht mehr erkennbar war.

Den Wert für die Transportkonzentration C_T erhält man, wenn man alleine die durch das Rohrstück durchströmenden Volumenströme für Feststoff und Flüssigkeit betrachtet. Die abgelagerten Feststoffe werden hierbei nicht berücksichtigt.³²

Die Transportkonzentration C_T errechnet man wie folgt:

$$C_T = 1 - \frac{\left(\frac{\dot{m}_F}{\dot{Q}_F}\right)}{\dot{V}_{ges}} \quad (5.19)$$

$$C_T = 1 - \frac{\left(\frac{27532}{1070}\right)}{31,75} \%$$

$$C_T = 19,060 \%$$

Da nun alle Größen bekannt sind, kann der feststoffbedingte Druckverlust ermittelt werden.

$$\Delta p_S = 0,120 \times 85 \times 0,19057 \times 0,462 \times (7789 - 1070) \times 9,81 \times \frac{0,1935^{\frac{5}{3}} \times 7789^{\frac{1}{3}}}{0,00881^{\frac{2}{3}} \times 0,00132^{\frac{1}{3}}} / 10^5 \text{ bar}$$

³² vgl. (Brauer, 1971) S.535

$$\Delta_{pS} = 83,012 \text{ bar}$$

Der Gesamte Druckverlust in den Rohrleitungen beträgt somit:

$$\Delta_p = 83,012 \text{ bar} + 0,005 \text{ bar} = 83,017 \text{ bar}$$

Die Dickstoffpumpe wird für einen Pumpendruck von 85 bar ausgelegt.

5.6 Berechnung des Hydrauliköldruckes

Mit der Fläche des Förderkolbens, des Betriebsdruckes und der Fläche des Antriebskolbens lässt sich der Öldruck $p_{öl}$ errechnen.

$$p_B \times A_F = p_{öl} \times A_A \quad (5.20)$$

$$p_{öl} = \frac{p_b \times A_F}{A_A}$$

$$p_{öl} = \frac{8,5 \times 25447 \frac{N}{mm^2} \times mm^2}{12723,45 \frac{N}{mm^2}}$$

$$p_{öl} = 17 \frac{N}{mm^2} \triangleq 170 \text{ bar}$$

5.7 Berechnung der erforderlichen theoretischen Leistung

Mit der ermittelten Ölfördermenge und dem Hydraulikdruck kann die erforderliche Hydraulikleistung errechnet werden.

$$P_{erf} = p_{öl} \times \dot{Q}_{öl} \quad (5.21)$$

$$P_{erf} = 17000000 \times 0,00464 \frac{N}{m^2} \times \frac{m^3}{s}$$

$$P_{erf} = 78908 \text{ W} \triangleq 78,9 \text{ kW}$$

5.8 Berechnung der Antriebsleistung der Hydraulikpumpe

$$P_{an} = \frac{P_{erf}}{\eta_{ges}} \quad (5.22)$$

$$\eta_{ges} = \eta_v \times \eta_{hm}$$

$$\eta_{ges} = 0,9 \times 0,9$$

$$P_{an} = \frac{78,9}{0,81} \text{ kW}$$

$$P_{an} = 97,41 \text{ kW}$$

$$\eta_{ges} \dots \dots \dots \text{Gesamtwirkungsgrad}$$

η_{hm}hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad (0,9-0,95)³³

5.9 Berechnung der elektrischen Leistung

Mit der Antriebsleistung der Hydraulikpumpe und dem Wirkungsgrad des Elektromotors kann die elektrische Leistung errechnet werden.

$$P_{el} = \frac{P_{an}}{\eta_M} \quad (5.23)$$

$$P_{el} = \frac{97,41}{0,82} \text{ kW}$$

$$P_{el} = 118,8 \text{ kW}$$

η_MWirkungsgrad Elektromotor (0,8.....0,95)³⁴

5.10 Festlegung der Antriebsart

Prinzipiell unterscheidet man zwei Antriebsarten bei Dickstoffpumpen:

- Hydraulikdruck liegt an der Stangenseite des Antriebskolbens an (1)
- Hydraulikdruck liegt am Kolbenboden des Antriebskolbens an (2)³⁵

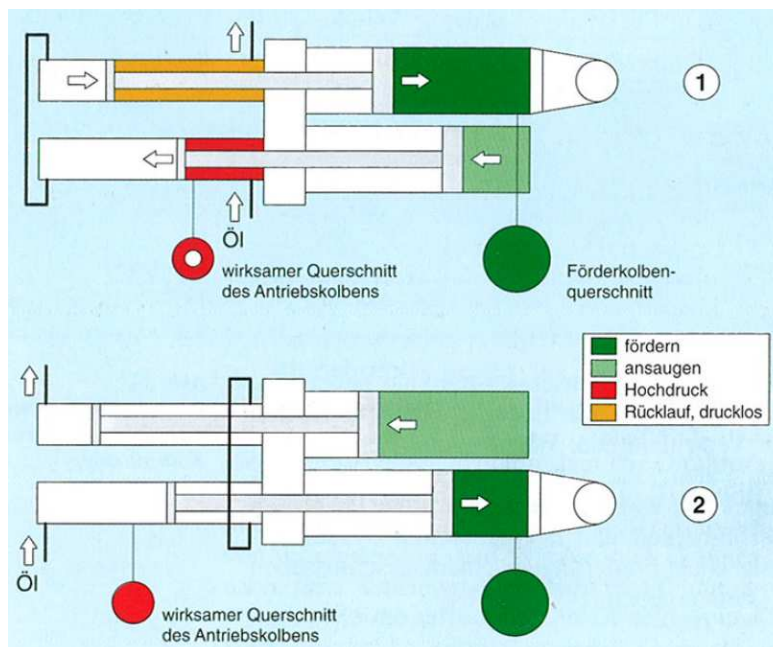


Abbildung 11: Antriebsarten von Dickstoffpumpen

Quelle: Frey: Dickstoffpumpen - Aufbau und Anwendung

³³ vgl. (Grollius, 2008) S.81

³⁴ vgl. (Tkotz, 2009) S.43

³⁵ vgl. (Frey, 1995) S. 48

Liegt der Kolbendruck am Boden an, sind höhere Förderdrücke erzielbar, jedoch ist dadurch auch eine höhere Menge an Öl erforderlich.

Den Vergleich soll eine Berechnung zeigen.

Gegebene Größen:

Hydraulikdruck $p_{\text{Öl}}$: 170 bar

Förderkolbenquerschnitt A_F : 25446,9 mm²

Antriebskolbenquerschnitt stangenseitig A_{AST} : 5779,74 mm²

Antriebskolbenquerschnitt bodenseitig A_A : 12723,45 mm²

Erreichbarer Förderdruck bei stangenseitigem Antrieb:

$$p_B \times A_F = p_{\text{Öl}} \times A_{AST}$$

$$p_B = \frac{p_{\text{Öl}} \times A_{AST}}{A_F}$$

$$p_B = \frac{170 \times 5779,74 \text{ bar} \times \text{mm}^2}{25446,9 \text{ mm}^2}$$

$$p_B = 38,61 \text{ bar}$$

Erreichbarer Förderdruck bei bodenseitigem Antrieb:

$$p_B \times A_F = p_{\text{Öl}} \times A_A$$

$$p_B = \frac{p_{\text{Öl}} \times A_A}{A_F}$$

$$p_B = \frac{170 \times 12723,45 \text{ bar} \times \text{mm}^2}{25446,9 \text{ mm}^2}$$

$$p_B = 85 \text{ bar}$$

Da bei dieser Anwendung ein höherer Förderdruck benötigt wird, wird der Antrieb über den Boden des Antriebskolbens gewählt.

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Pumpendimensionierung zusammengefasst.

Tabelle 9: Ergebnisse der Pumpendimensionierung

Errechnete Größe	Zahlenwert	Einheit
Feststoff-Fördermenge	20010	$\frac{dm^3}{h}$
Flüssigkeitsfördermenge	11740	$\frac{dm^3}{h}$
Gesamtfördermenge	31750	$\frac{dm^3}{h}$
Massenanteil Feststoffe	46879	$\frac{kg}{h}$
Massenanteil Flüssigkeit	27532	$\frac{kg}{h}$
Effektives Hubvolumen	28,48	dm^3
Antriebskolbendurchmesser	128	mm
Ölvolumenstrom	278	$\frac{dm^3}{min}$
Feststoffbedingter Druckverlust	83	bar
Flüssigkeitsbedingter Druckverlust	0,005	bar
Öldruck	170	bar
Erforderliche Leistung	78	kW
Antriebsleistung Hydraulikpumpe	97	kW
Elektrische Leistung	118	kW

eigene Quelle

5.11 Pumpenkennlinie

Anhand der Kennlinie werden Fördermenge, Förderhöhe und Antriebsleistung der Dickstoffpumpe abgelesen.

Die Pumpenkennlinie in Diagramm 7 zeigt den Betriebspunkt der Pumpe.

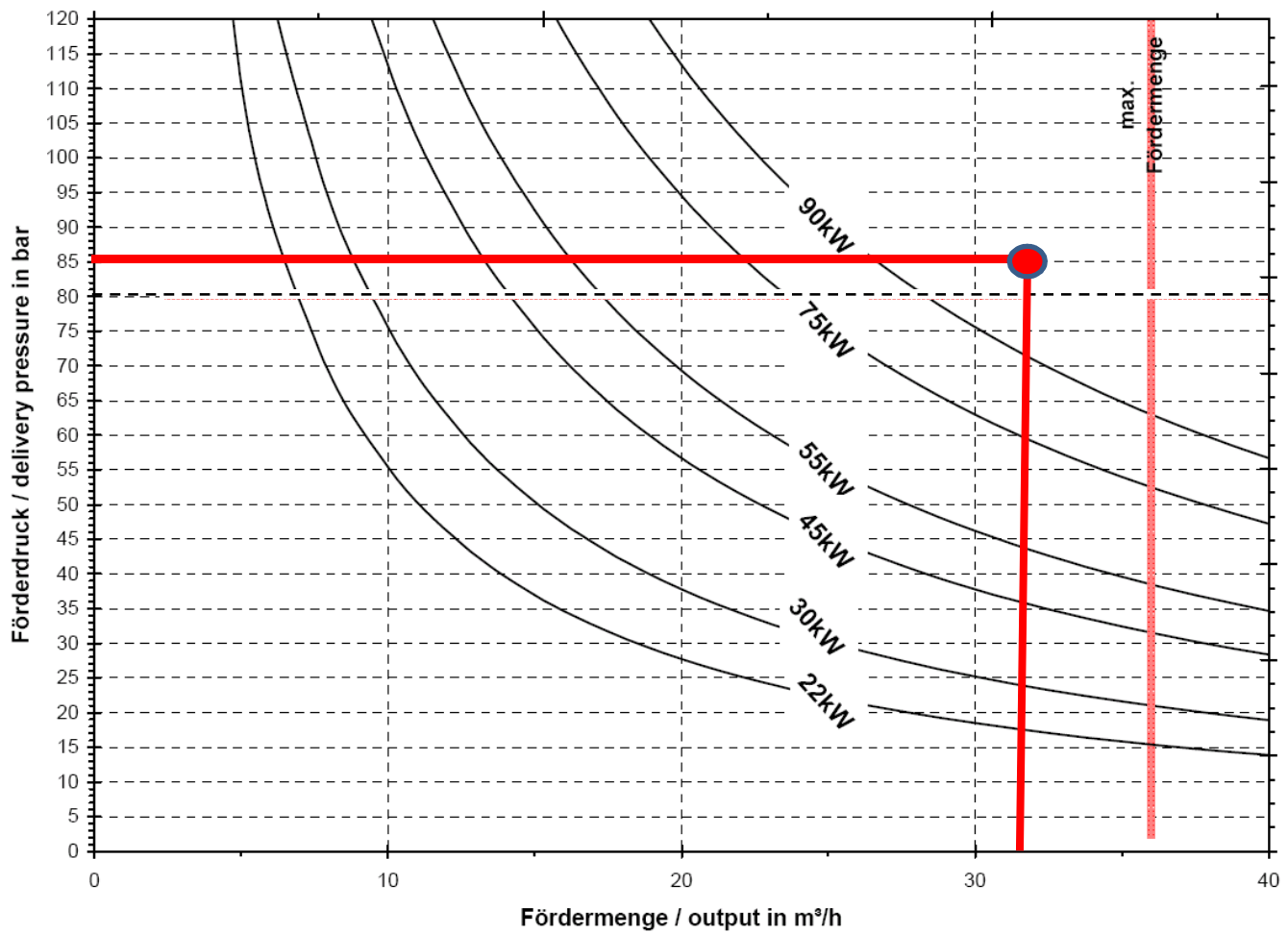


Diagramm 7: Kennlinie der Dickstoffpumpe

eigene Quelle

6. Dimensionierung der Rohrleitung

Folgende Anforderungen an eine Rohrleitung oder ein Rohrleitungssystem müssen erfüllt sein, damit die wichtigsten Punkte wie Wirtschaftlichkeit, Betriebssicherheit und Umweltverträglichkeit erreicht werden können:

- ausreichend großer Querschnitt, um die geforderte Fördermenge durchsetzen zu können
- ausreichender Pumpendruck am Leitungsbeginn, damit die Druckverluste in der Rohrleitung überwunden werden können und am Ende der Rohrleitung der Zieldruck erreicht wird
- richtig dimensionierte Wandstärken, damit der Innendruck aufgenommen und der mögliche Verschleiß und kompensiert werden können
- Wahl der richtigen Rohrleitungsverbindung, um Undichtheiten und Leckagen vermeiden zu können
- Wahl des richtigen Rohrleitungswerkstoffes, um den Belastungen und Spannungen standhalten zu können und Korrosion/ Abrasion möglichst reduziert werden
- Leichte Zugänglichkeit zu Rohrleitungen und Rohrleitungseinbauten, um Wartungsarbeiten wirtschaftlich und sicher durchführen zu können
- ausreichend starke Wärmeisolierung, um Wärmeverluste möglichst klein zu halten³⁶

Alle diese Aspekte stehen im Zusammenhang miteinander. Als Veranschaulichung dieser Wechselwirkungen dient Diagramm 8.

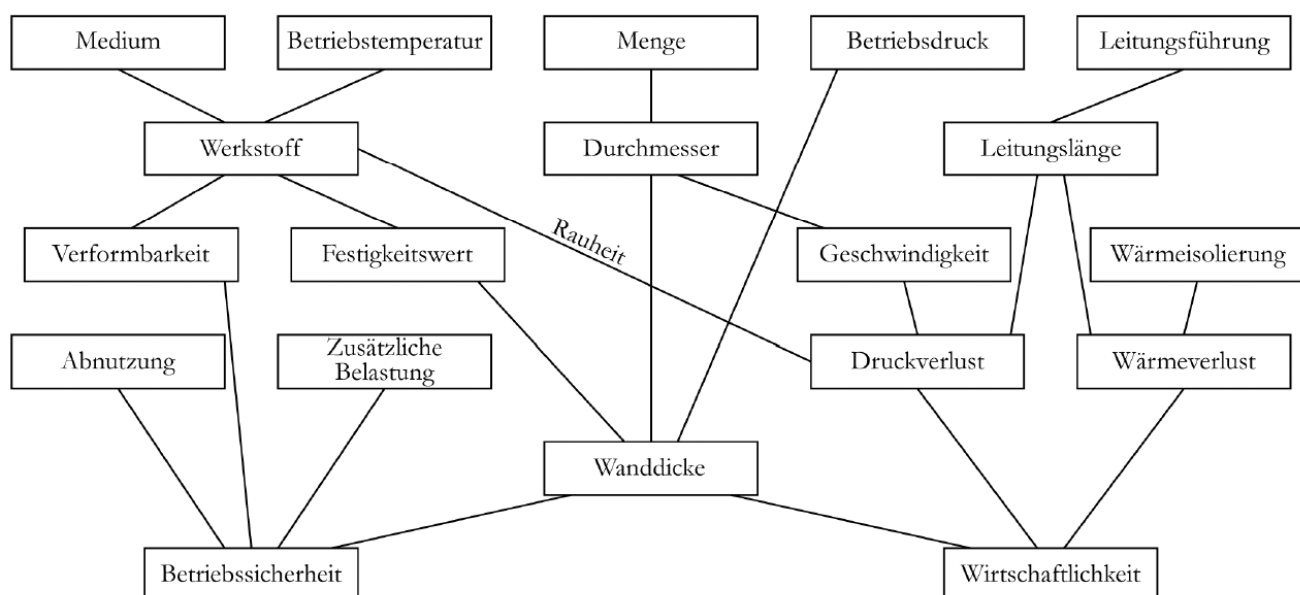


Diagramm 8: Verknüpfung der Einflussgrößen bei der Planung einer Rohrleitung

Quelle: Vorlesungsskript – Universität Karlsruhe

³⁶ vgl. (Herz, 2004) S. 48

6.1 Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit

In der Praxis hat sich gezeigt, dass bei der Förderung von Dickstoffen mittels einer Dickstoffpumpe, die Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung im Bereich zwischen $0,1 \frac{m}{s}$ und $0,4 \frac{m}{s}$ vorherrschend sind.³⁷

Die mit der Dickstoffpumpe realisierbare Strömungsgeschwindigkeit errechnet sich aus der Anzahl der Hübe pro Minute und dem Hub des Förderkolbens. Für die Berechnung wird angenommen, dass die Pumpe als Ein-Zylinderpumpe ausgeführt ist, da diese im Gegentakt arbeiten.

Mit dem ermittelten Wert soll zuerst der Rohrleitungsdurchmesser überschlagsmäßig, mittels Diagramm, bestimmt werden. In weiterer Folge soll der Rohrleitungsquerschnitt und der Rohrleitungsdurchmesser rechnerisch ermittelt werden.

Die Strömungsgeschwindigkeit errechnet sich wie folgt:

$$v = l_{HZ1} \times n_{PZ1} \quad (6.1)$$

$$v = 1000\text{mm} \times 18,5 \text{ min}^{-1}$$

$$v = 18500 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \triangleq 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

l_{HZ1} Hub des Förderkolbens

n_{PZ1}Anzahl der Hübe der Pumpe

vStrömungsgeschwindigkeit

6.2 Berechnung des Rohrleitungsinneindurchmessers

Der Rohrleitungsquerschnitt A_R kann über folgende Formeln errechnet werden:

$$A_R = \frac{\dot{V}}{v} \quad (6.2)$$

$$A_R = \frac{d_R^2 \cdot \pi}{4}$$

Daraus folgt der benötigte Rohrleitungsinneindurchmesser d_R :

$$d_R = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

³⁷ vgl. (Frey, 1995) S. 43

$$A_R = \frac{31,75}{1080} \frac{\frac{m^3}{h}}{\frac{m}{h}}$$

$$A_R = 0,0294 \text{ m}^2 \triangleq 29400 \text{ mm}^2$$

$$d_R = \sqrt{\frac{117593}{\pi}}$$

$$d_R = 193,47 \text{ mm} \approx 193,5 \text{ mm}$$

6.3 Bestimmung des Rohrleitungsdurchmessers mittels Diagramm

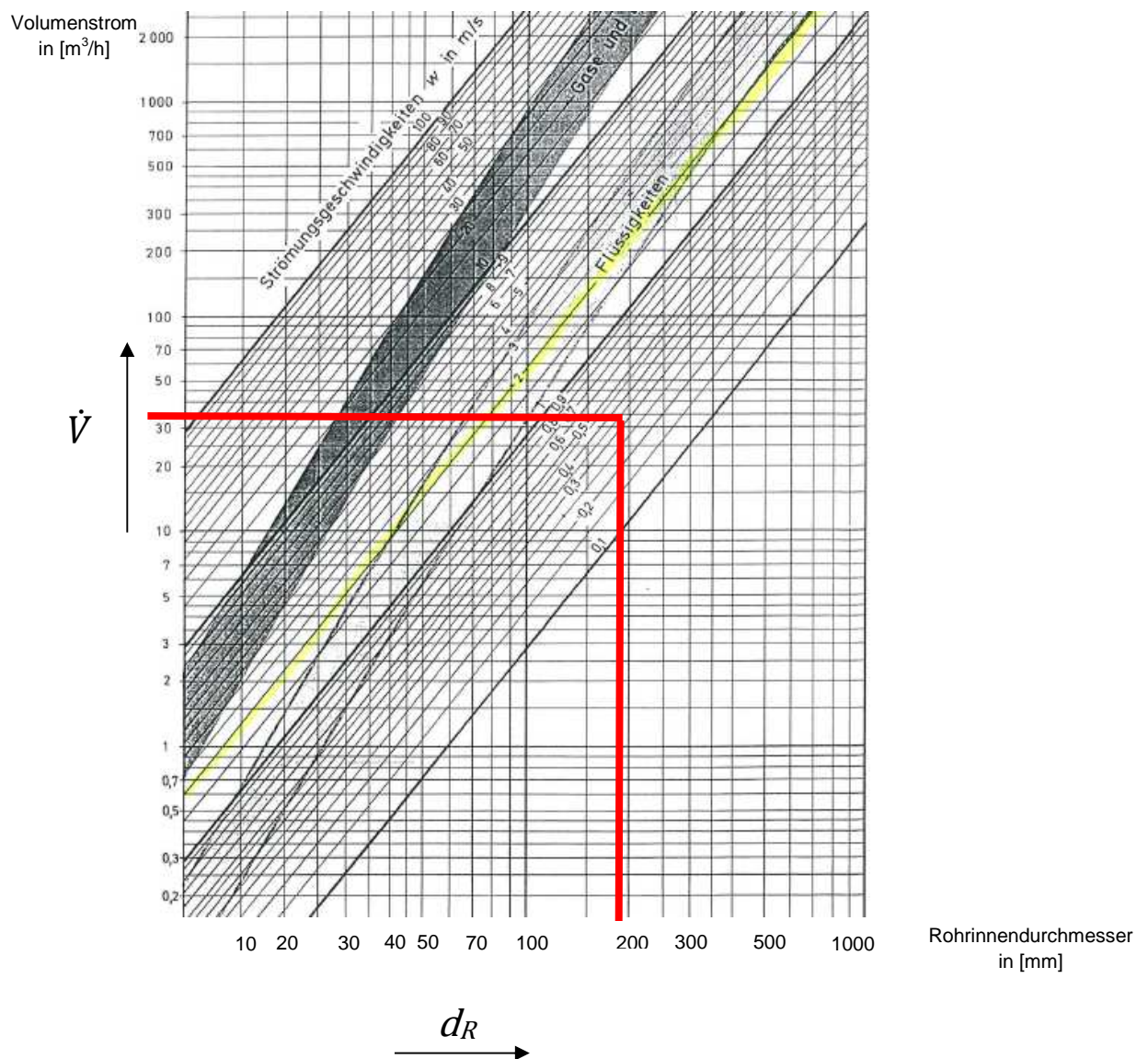


Diagramm 9: Rohrleitungsdurchmesser in Abhängigkeit von Volumenstrom und Strömungsgeschwindigkeit

Quelle: Recknagel: Taschenbuch f. Heizung und Klimatechnik

Vergleich der Ergebnisse

Tabelle 10: Vergleich der Rohrrinnendurchmesser

Strömungsgeschwindigkeit	Volumenstrom	Rohrrinnendurchmesser	Verfahren
$0,3 \frac{m}{s}$	$31,5 \frac{m^3}{h}$	195 mm	Bestimmung m. Diagramm
		193,5 mm	Berechnung

eigene Quelle

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass sowohl bei der Bestimmung über das Diagramm als auch über die Berechnung ein ähnlicher Wert ermittelt wird.

6.4 Berechnung der Wandstärke

Die Berechnung der erforderlichen Wandstärke ist abhängig vom Innendruck, dem Rohrleitungswerkstoff und der Rohrdimension.³⁸

Aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Fördermediums, kann davon ausgegangen werden, dass ein Schwarzstahlrohr eingesetzt werden kann.

Für die Wandstärkenberechnung von Rohrleitungen ist folgende Festigkeitsbedingung Voraussetzung³⁹:

$$\sigma_{vor} \leq \sigma_{zul}$$

σ_{vor}Vorhandene Spannung

σ_{zul}zulässige Spannung

Die vorhandene Spannung ist jene Spannung, die in der Rohrleitungswand maximal zu erwarten ist.

Die zulässige Spannung errechnet sich aus dem Festigkeitskennwert des Rohrleitungswerkstoffes und einem für die Anwendung geeigneten Sicherheitsbeiwert.

$$\sigma_{zul} = \frac{K}{S} \quad (6.3)$$

KFestigkeitskennwert

SSicherheitsbeiwert

Als Festigkeitskennwert kann die Streckgrenze R_M bzw. die 0,2 Dehnungsgrenze $R_{p0,2}$ herangezogen werden.

Die Sicherheitsbeiwerte können aus Tabelle 11 entnommen werden.

³⁸ vgl. (Herz, 2004) S.94

³⁹ vgl. (Herz, 2004) S.94

Tabelle 11: Beispiele f. Sicherheitsbeiwerte zur Wanddickenberechnung

Werkstoff	Festigkeitswert	AD 2000 B0 2003-07	TRD 300 2001-08	DIN EN 13445-3: 2003-11	DIN EN 12952-3: 2002-05
Walz- und Schmiedestähle	$R_{p0,2/3}$ $R_{p1,0/3}^{*)}$	1,5	1,5	1,5 **)	1,5
	$R_{m1/3}$	1,5	1,0	-	1,25
	R_m	-	2,4	2,4 **)	2,4
Stahlguss	$R_{p0,2/3}$	2,0	2,0	1,9	2,0
	$R_{m1/3}$	2,0	2,0	-	2,0
	R_m	-	3,2	3,0	3,2
Grauguss globular (GGG 35.3 / 40.3)	$R_{p0,2/3}$	2,4 ***)	3,0 / 4,0 ****)	-	3,0 / 4,0 ****)
	R_m	-	4,8 / 5,8 ****)	-	4,8 / 5,8 ****)
Grauguss laminar	R_m	7,0 / 9,0 ****)	7,0 / 9,0 ****)	-	-

*) austenitische Stähle nach DIN EN 13445-3

**) mit Ausnahmen

***) höhere Werte für andere GGG-Sorten (bzw. GJS-Sorten), siehe hierzu auch AD 2000 W 3/2: 2000-11

****) gegläht / ungegläht, in TRD jeweils mit Abnahmeprüfzeugnis nach DIN 50049

Quelle: Herz: Grundlagen der Rohrleitungs- und Apparatechnik

Für die Wandstärkenberechnung werden zwei Rohrleitungswerkstoffe aus Tabelle 12 ausgewählt.

Tabelle 12: Rohrleitungswerkstoffe und ihre Festigkeitswerte

Stahlsorte	R _m N/mm ²	Dehngrenzen R _{eff} bzw. R _{p0,2} und Zeitstandsfestigkeiten R _{m/t/3} in N/mm ²															
			20 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C		
Unlegierte Baustähle (DIN EN 10025: 1994-03 bzw. AD 2000 Merkblatt W1: 2002-05)																	
S235JRG1 (1.0036), S235JRG2 (1.0038), S235J2G3 (1.0116)	≥ 340	R _{eff} ; K	225		180		155	136	117								
S275JR (1.0044), S275J2G3 (1.0144)	≥ 410	R _{eff} ; K	265		210		180	170	140								
S355J2G3 (1.0570), S355K2G3 (1.0595)	≥ 490	R _{eff} ; K	345		249		221	202	181								
Warmfeste Stähle (DIN EN 10028-2: 2003-09)																	
P235GH (1.0345)	≥ 360	R _{eff} ; R _{p0,2/3}	225	218	205	190	174	160	147	136	128						
		R _{m/200.000/3}									115	57					
16Mo3 (1.5415)	≥ 440	R _{eff} ; R _{p0,2/3}	270	268	259	245	228	209	190	172	156	145	139				
		R _{m/200.000/3}										217	84				
10CrMo9-10 (1.7380)	≥ 480	R _{eff} ; R _{p0,2/3}	300	279	257	246	240	235	228	218	205	191	179				
		R _{m/200.000/3}										201	120	58	28		
Austenitische nichtrostende Stähle (DIN EN 10028-7: 2000-06)																	
X5CrNi18-10 (1.4301)	≥ 520	R _{p0,2/3}	≥ 210		157	142	127	118	110	104	98	95	92	90			
X6CrNiTi18-10 (1.4541)	≥ 500	R _{p0,2/3}	≥ 200		176	167	157	147	136	130	125	121	119	118			
X2CrNiMo17-12-2 (1.4404)	≥ 520	R _{p0,2/3}	≥ 220		166	152	137	127	118	113	108	103	100	98			
X2CrNiMo18-14-3 (1.4435)	≥ 520	R _{p0,2/3}	≥ 220		165	150	137	127	119	113	108	103	100	98			
X5CrNiMo17-12-2 (1.4401)	≥ 520	R _{p0,2/3}	≥ 220		177	162	147	137	127	120	115	112	110	108			
X6CrNiMo17-12-2 (1.4571)	≥ 520	R _{p0,2/3}	≥ 220		185	177	167	157	145	140	135	131	129	127			
X1NiCrMoCu15-20-5 (1.4539)	≥ 520	R _{p0,2/3}	≥ 220		205	190	175	160	145	135	125	115	110	105			

Quelle: Herz: Grundlagen der Rohrleitungs- und Apparatechnik

Die Ergebnisse werden miteinander verglichen und eine passende Wandstärke ausgewählt werden.

6.4.1 Berechnung der Mindestwandstärken

Zulässige Spannung Werkstoff 1

$$\sigma_{zul1} = \left\{ \frac{R_{p0,2}}{1,5} \right\}$$

$$\sigma_{zul1} = \frac{180}{1,5} \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{zul1} = 120 \frac{N}{mm^2}$$

Zulässige Spannung Werkstoff 2

$$\sigma_{zul1} = \left\{ \frac{R_{p0,2}}{1,5} \right\}$$

$$\sigma_{zul1} = \frac{249}{1,5} \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{zul1} = 166 \frac{N}{mm^2}$$

Die Mindestwandstärke für innendruckbeaufschlagte Rohrleitungen wird mit folgender Formel errechnet.

$$s_v \geq \frac{p_e \times d_i}{2 \times \frac{K}{S} + p_e} \quad (6.4)$$

p_emax. Betriebsdruck (innen)

d_RInnendurchmesser Rohr

Mindestwandstärke mit Werkstoff 1

$$s_{v1} = \frac{8,5 \times 193,5 \frac{N}{mm^2} \times mm}{(2 \times 120) + 8,5 \frac{N}{mm^2} + \frac{N}{mm^2}}$$

$$s_{v1} = 6,6 \text{ mm}$$

Mindestwandstärke mit Werkstoff 2

$$s_{v2} = \frac{8,5 \times 193,5 \frac{N}{mm^2} \times mm}{(2 \times 166) + 8,5 \frac{N}{mm^2} + \frac{N}{mm^2}}$$

$$s_{v2} = 4,83 \text{ mm}$$

Die Mindestwandstärke von Rohrleitungen wird noch mit Zuschlägen versehen. Meist bei ferritischen Stählen werden Zuschläge für Korrosion an der Innen- und Außenwand berücksichtigt. ^[6]

Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeit in den Rohrleitungen wurden die Rohrleitungen nicht auf Verschleiß berechnet.

6.4.2 Berechnung Bestellwandstärke

Die sogenannte Bestellwandstärke errechnet sich aus:

$$S_n = s + \varepsilon_s = s_v + c_1 + c_2 + c_F + \varepsilon_s \quad (6.5)$$

$$c_2 = c_{2i} + c_{2a} \quad (6.6)$$

c_1 untere Wandsdickentoleranz (bei warmgewalzten Stählen -0,3+1,2mm) ⁴⁰

c_2 Korrosionszuschlag (bei ferritischen Stählen 0,5-0,75mm) ⁴¹

c_{2i} Korrosionszuschlag Rohrrinnenwand (auch f. Abrasion)

c_{2a} Korrosionszuschlag Rohraußenwand

c_F fertigungsbedingte Wandsdickenminderung ⁴²

ε_s Rundungsfaktor ⁴³

Die Zusammenhänge der einzelnen Zuschläge und Wandsdicken ist in Abbildung 12 dargestellt.

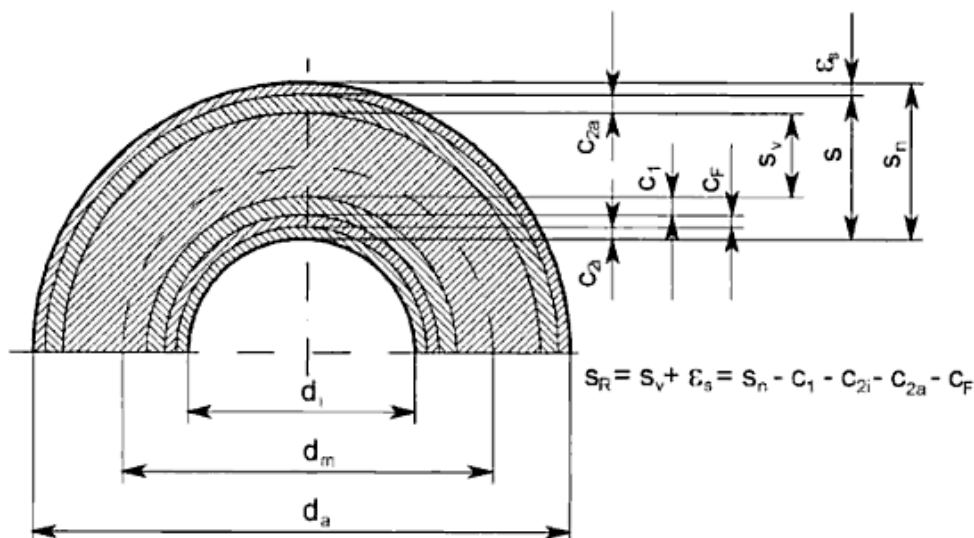


Abbildung 12: Zusammenhänge von Zuschlägen und Wandsdicken

Quelle: Wossog: Handbuch Rohrleitungsbau

⁴⁰ vgl. (Herz, 2004) S.95

⁴¹ vgl. (Herz, 2004) S.95

⁴² vgl. (Wossog, 2002) S.133

⁴³ vgl. (Wossog, 2002) S.133

Bestellwandstärke mit Werkstoff 1

$$S_1 = 6,6\text{mm} + 0,1\text{mm} + 1\text{mm} + 0,1\text{mm} + 0,20\text{mm}$$

$$S_1 = 8,00\text{ mm}$$

Nächste größere Wandstärke: 8 mm

Bestellwandstärke mit Werkstoff 2

$$S_2 = 4,83\text{mm} + 0,1\text{mm} + 1\text{mm} + 0,1\text{mm} + 0,20\text{mm}$$

$$S_2 = 6,23\text{ mm}$$

Nächste größere Wandstärke: 7,1mm

Es wird eine Wandstärke von 7,1mm gewählt.

Als Rohrleitung wird ein DN 200 Rohr nach DIN 2448 aus S355 JR (Werkstoff 2) mit den Abmessungen 203 mm x 7,1mm gewählt.

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Rohrleitungsberechnung zusammengefasst.

Tabelle 13: Ergebnisse der Rohrleitungsberechnung

Errechnete Größe	Zahlenwert	Einheit
Strömungsgeschwindigkeit	0,3	$\frac{m}{s}$
Rohrinnendurchmesser	193,5	mm
Mindestwandstärke Werkstoff 2	4,83	mm
Bestellwandstärke Werkstoff 2	6,23	mm

eigene Quelle

7. Planung und Aufbau des Pumpversuches

Für die Auswahl einer geeigneten Dickstoffpumpe soll ein Pumpversuch mit der Fa. Putzmeister durchgeführt werden.

Dieser erfolgt prinzipiell mit Standardpumpen, wodurch die Durchführung kurzfristig und kostengünstig abgewickelt werden kann.

Ziel ist es, wichtige Kennwerte, wie Füllgrad, Druckverlust und Hubanzahl, die für die Auslegung der Pumpe der Großanlage erforderlich sind, zu ermitteln. Des Weiteren sollen die errechneten Werte mit den Ergebnissen des Pumpversuches verglichen und bei eventuellen Abweichungen, angepasst werden.

Die Versuchspumpanlage wird auf Basis der errechneten Werte ausgelegt und zusammengestellt.

Abbildung 13 zeigt das Prozessfließbild der Versuchsanlage

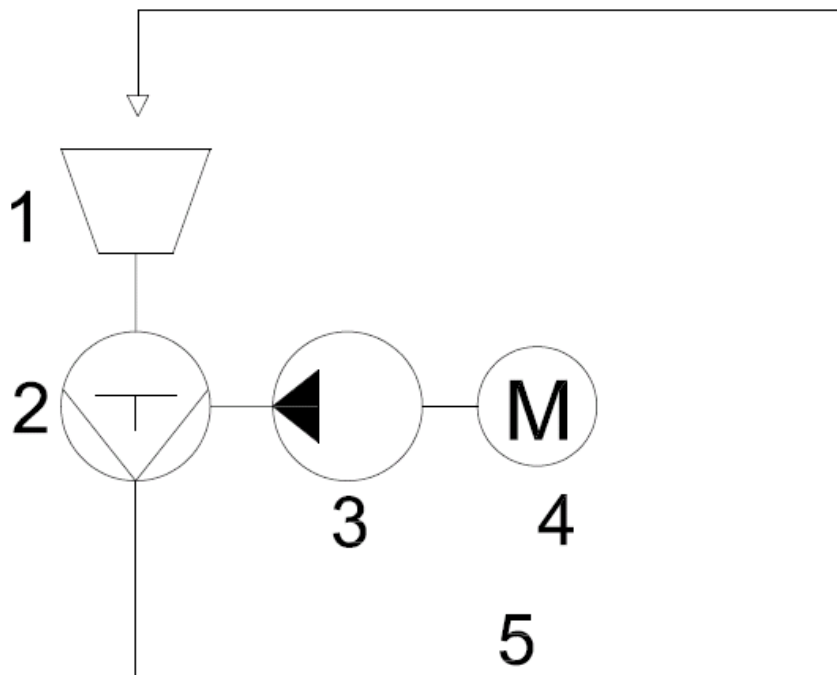


Abbildung 13: Prozessbild der Versuchsanlage

eigene Quelle

- (1) Materialaufgabe
- (2) Kolbenpumpe
- (3) Hydraulikaggregat
- (4) Elektromotor
- (5) Rohrleitung

Abbildung 14 zeigt ein Beispiel für den Aufbau einer Versuchsanlage.



Abbildung 14: Versuchsanlage

Quelle: Putzmeister Solid Pumps

Materialaufgabe (Beispiel)

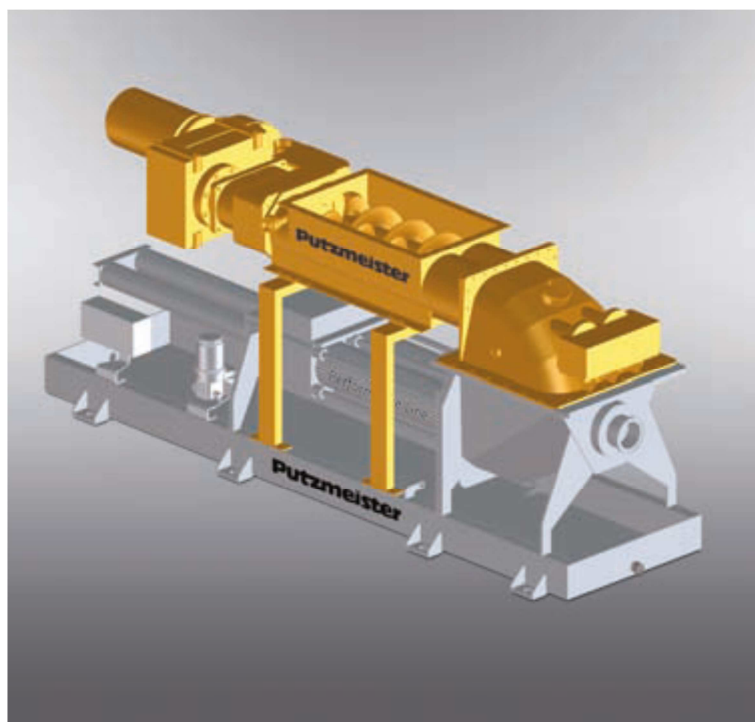


Abbildung 15: Förderschnecke Typ THS 332 HCB P

Quelle: Putzmeister Solid Pumps

Die Materialaufgabe hat die Aufgabe, das Fördermedium konstant der Dickstoffpumpe zuzuführen. Sie besteht im Wesentlichen aus einer Doppelschnecke, die mit Hilfe eines Elektromotors angetrieben wird.

Durch die Drehbewegung der Eintragsschnecke gelangt das Fördermedium in den Aufgabetrichter der Dickstoffpumpe. Die Doppelschnecke erzeugt einen Vordruck, durch den die Kolbenpumpe effektiver gefüllt wird.

Kolbenpumpe (Beispiel)



Abbildung 16: Standardpumpe Typ KOS 1070 P

Quelle: Putzmeister Solid Pumps

Für den Pumpversuch wurde eine Standardpumpe des Typs KOS 1070 P ausgewählt. Mit dieser Pumpe können $60 \text{ m}^3/\text{h}$ Fördermaterial bei einem Förderdruck von ca. 80 bar transportiert werden.

Hydraulikaggregat (Beispiel)

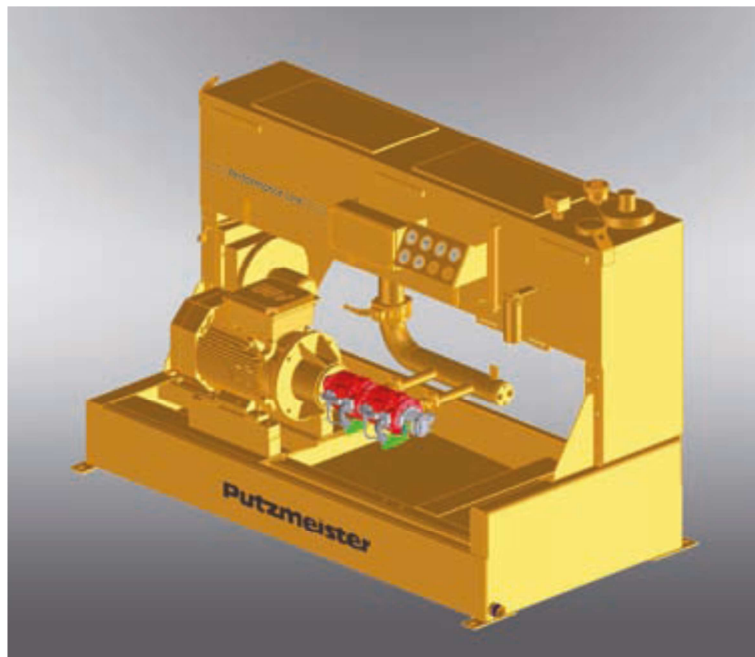


Abbildung 17: Hydraulikaggregat Typ HA55 CI

Quelle: Putzmeister Solid Pumps

Um die Dickstoffpumpe zu betreiben, ist ein Hydraulikaggregat erforderlich. Hierfür wurde der Typ HA55 CI mit 55 KW Antriebsleistung gewählt.

Rohrleitungen (Beispiel)



Abbildung 18: Zentrifixsystem Quelle: Putzmeister Solid Pumps

Die Rohrleitungen werden nach dem Zentrifixsystem von Putzmeister ausgeführt, welche hochdruckfest und leicht zu verlegen sind. Der Rohrleitungsverlauf wurde durch eine Isometrie vorgegeben und ist mit dem tatsächlichen Verlauf der Rohrleitung in der Großanlage vergleichbar.

Die Durchführung des Pumpversuches und die Auswertung ist nicht mehr Gegenstand dieser Diplomarbeit.

Zusammenfassung

Das Diplomarbeitsthema „Förderung von abrasiven Rückständen“ ergab sich aus einer Anforderung aus der Betriebsabteilung.

Immer strenger werdende Sicherheits- und Gesundheitsschutzauflagen der Europäischen Union und unseres Mutterkonzernes erfordern einen sicheren Umgang mit den Stoffen in unserer Anlagen.

Durch diese Auflagen ist eine Förderung des Rückstandes, wie sie in der Vergangenheit betrieben wurde, nicht mehr ideal. Diese Tatsache schafft die Grundlage für dieser Diplomarbeit.

Nach der Fixierung des Diplomarbeitsthemas galt es, die Grundlagen der Fördertechnik und in späterer Folge der Pumpentechnik zu erläutern. Die schrittweise Annäherung und das Ausschließen von unpassenden Förderaggregaten ermöglichte es, eine für den Anwendungsfall brauchbare Fördereinrichtung zu finden.

Durch den Einsatz einer Dickstoffpumpe (geschlossenes System) kann der Kontakt des Rückstandes mit der Umwelt auf ein Minimum reduziert werden.

Weiters entfallen durch den Einsatz der Dickstoffpumpe, aufwendige manuelle Förder- und Manipulationstätigkeiten in diesem Betriebsbereich.

Die Pumpe und auch die Rohrleitungen werden so ausgeführt bzw. aufgestellt, dass diese leicht für das Bedien- und Wartungspersonal zugänglich sind. So können Störungen der sehr Anlage und/oder Wartungstätigkeiten ohne große Aufwendungen und sicher durchgeführt werden.

Literatur

Fachbücher

- [1] Wolfgang Zey: Dickstoffpumpen - Aufbau und Anwendung; 13. Auflage; Landsberg/Lech, Süddeutscher Verlag, 1995
- [2] Eifler W.: Küttner Kolbenmaschinen: Kolbenpumpen, Kolbenverdichter, Brennkraftmaschinen; 7. Auflage, Wiesbaden, Springer Verlag, 2009
- [3] Grote K.-H.: Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau; 23. Auflage, Berlin, Springer Verlag, 2004
- [4] Recknagel H.: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 2. Auflage; München, Oldenbourg Industrieverlage
- [5] Herz R.: Grundlagen der Rohrleitungs- und Apparatechnik, 2. Auflage, Essen, Vulkan-Verlag, 2004
- [6] Wossog G.: Handbuch Rohrleitungsbau Band II: Berechnungen, 2. Auflage, Essen, Vulkan-Verlag, 2002
- [7] Bauer, G.: Ölhydraulik, Grundlagen, Bauelemente, Anwendungen, 9. Auflage; Vieweg + Teubner, 2009
- [8] Grollius, H-W.: Grundlagen der Hydraulik, 4. Auflage, Hanser Verlag, 2008
- [9] Brauer, H.: Grundlagen der Einphasen- und Mehrphasenströmungen, 3. Auflage, Sauerländer Verlag, 1971
- [10] Tkotz, K.: Fachkunde Elektrotechnik, 24. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer GmbH & Co. KG, 2005

Vorlesungsskripte

- [13] Dipl.-Ing. Martin Detert, Skript Hydraulik von Rohrsystemen, Universität Karlsruhe, 200

Internetquellen

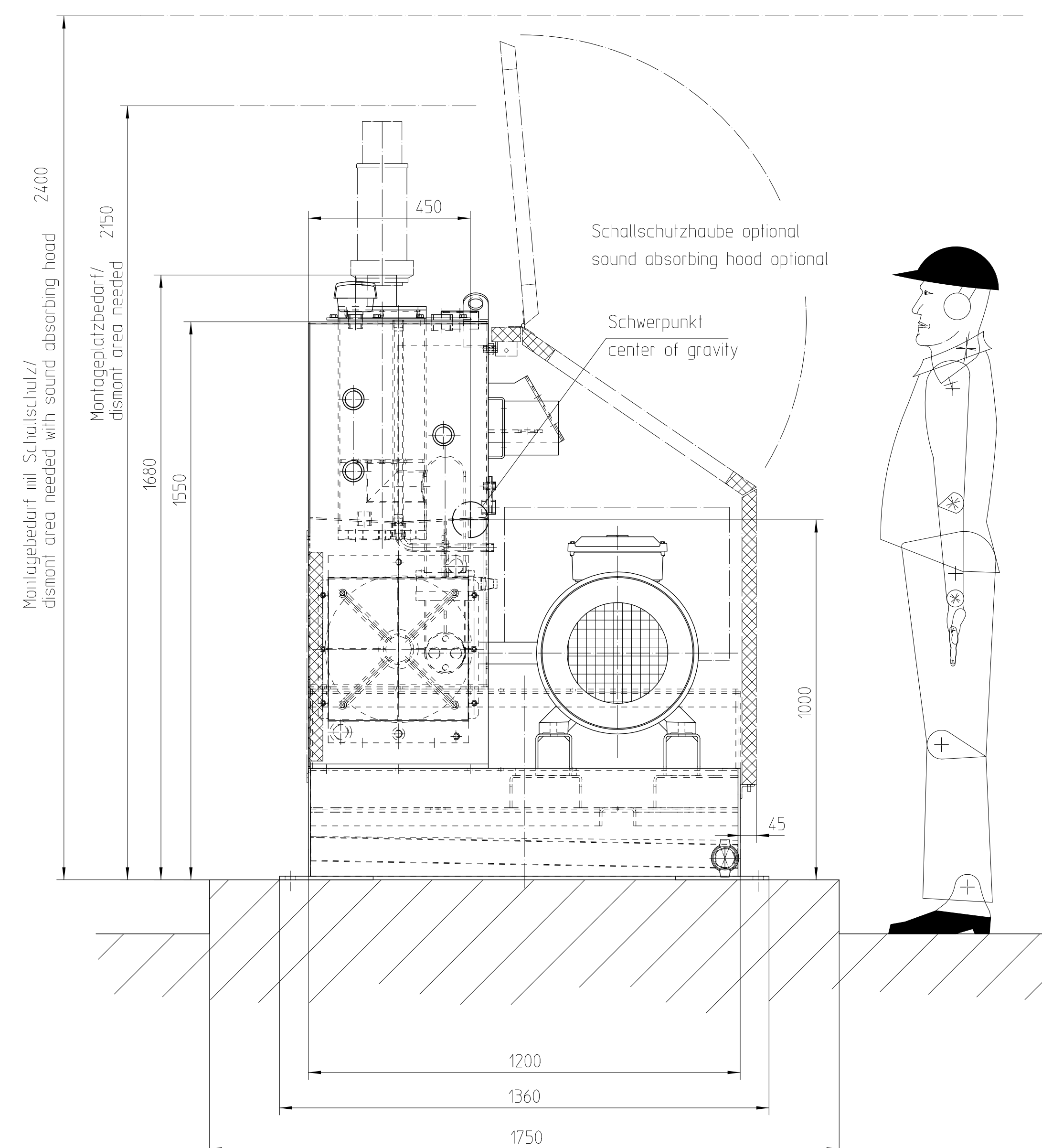
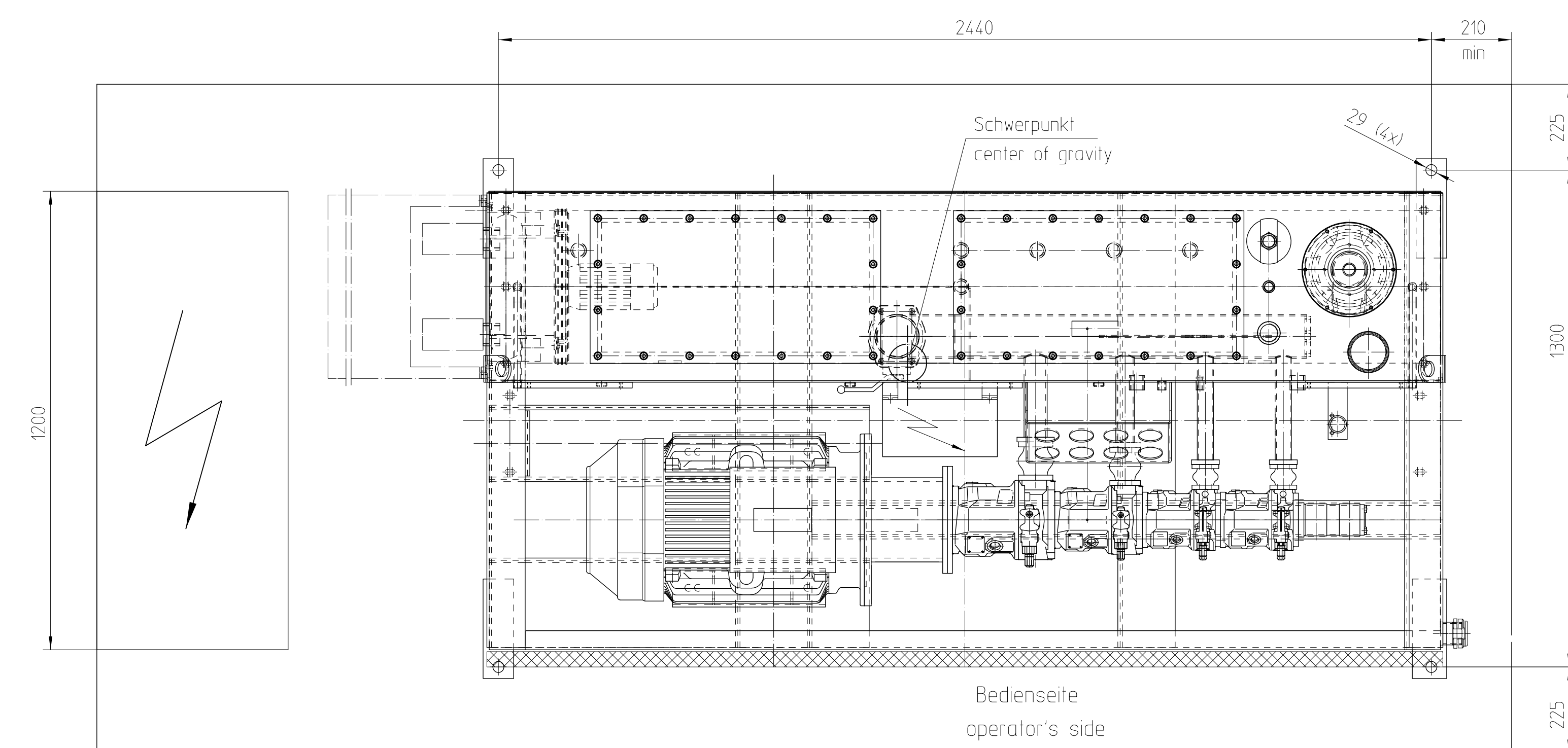
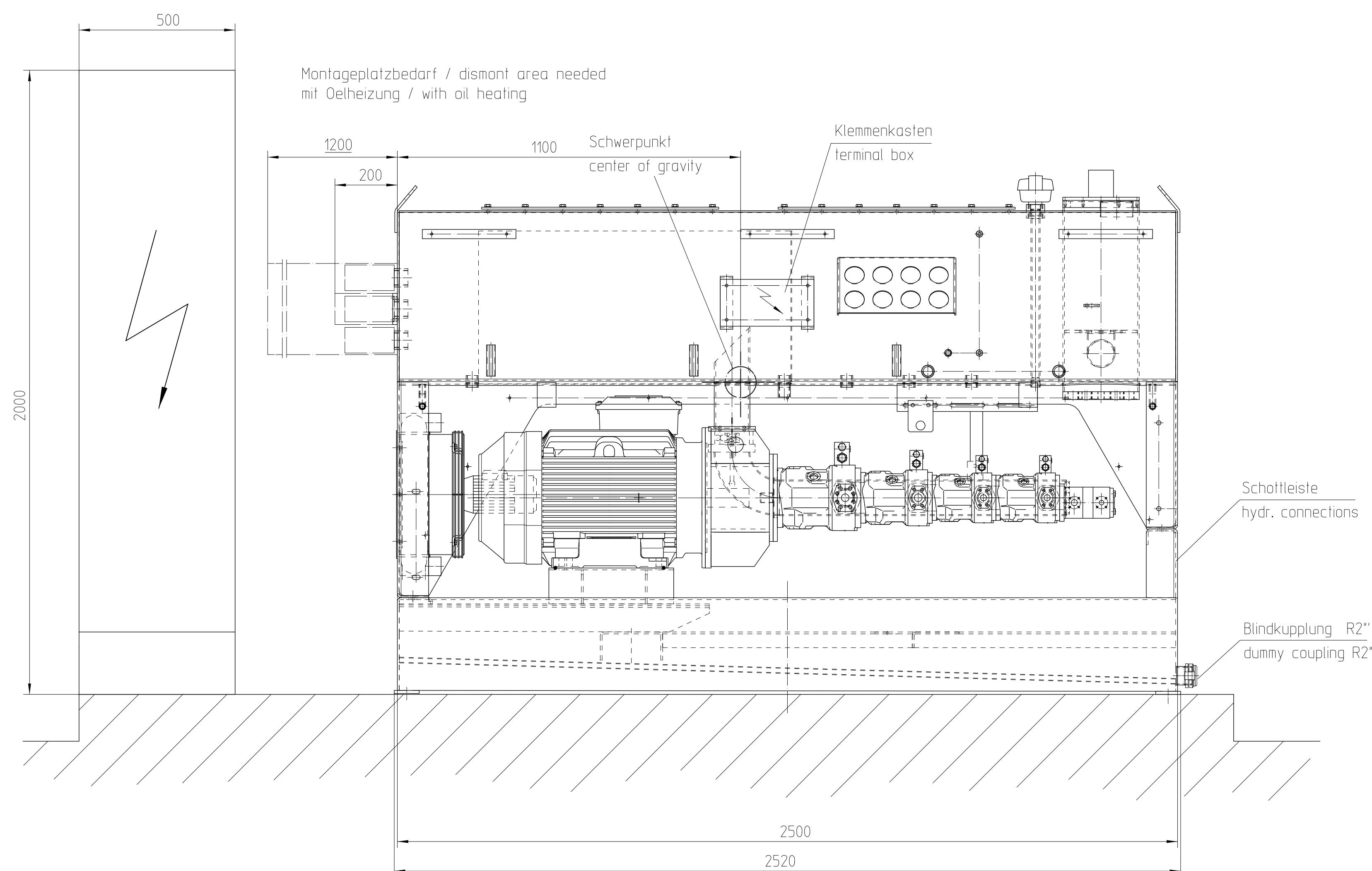
- [14] Putzmeister Solid Pumps. URL: <
http://www.pmsolid.com/psp/data/IP_4476_PerformanceLine_web.pdf>, verfügbar am
5.11.2012

Anhänge

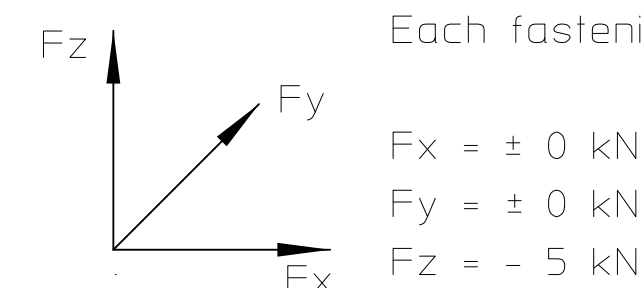
Hydraulikaggregat für die Versuchspumpe

Dickstoffpumpe für den Versuch

Rohrleitungsisometrie für den Versuch

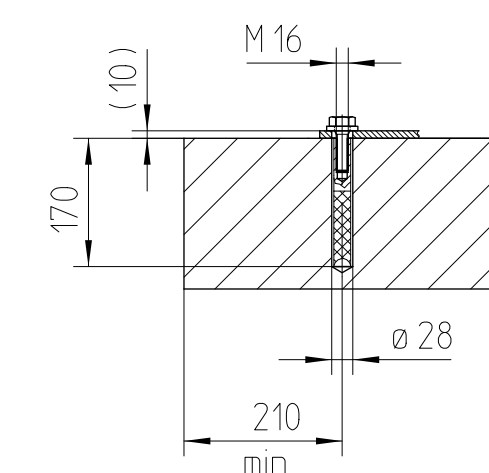


Jeder Befestigungspunkt:
Each fastening point:



Fundamentbefestigung
foundation fastening

Gewicht: 1300 - 2000 kg
dead load: 1300 - 2000 kg



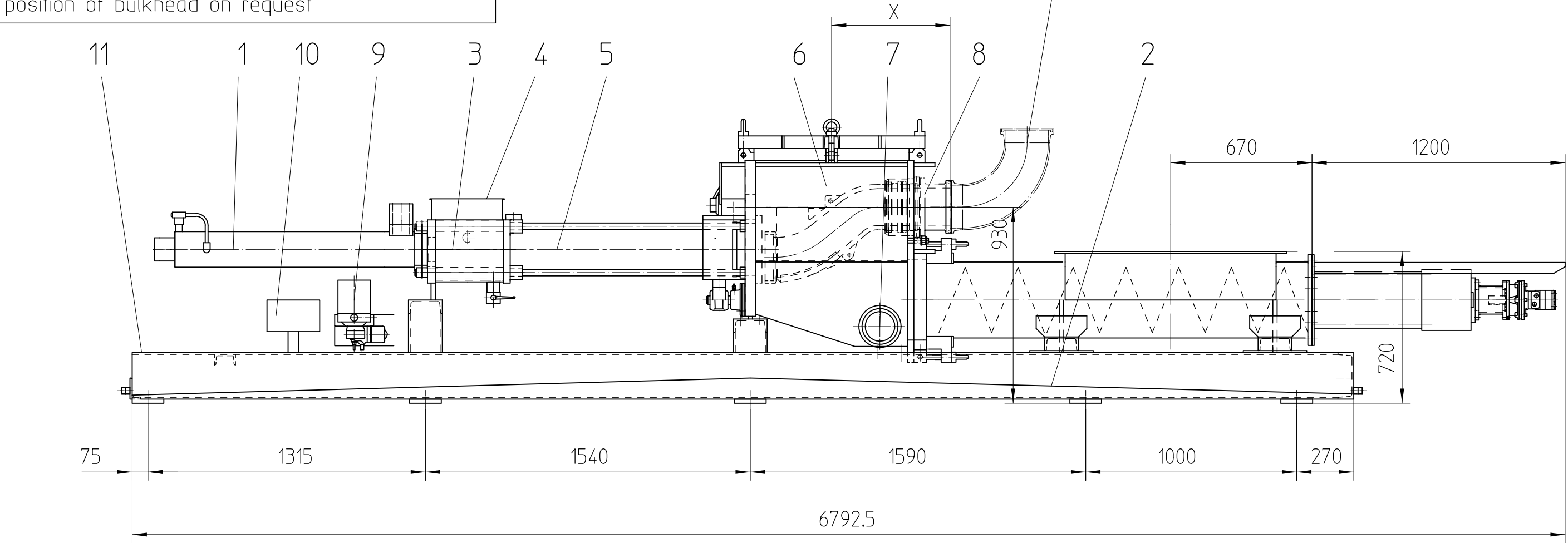
HA 30-90 CI
WITH SOUNDPROOFING COVER

	Nur zur Information For information only	Gültigkeitsdauer 12 Monate Period of validity 12 months	Mafangaben sind ca.Werte Dimensions only approximate values	Bezieht sich nur auf Projekt: Only referring to project:	Kopie vom: Date of copy:	Änd.-Stand Revision
	VK-Proj.-Nr.: Sales proj. no.:		Ersatz für Replacement for	made by HaeckerE / HechHr STB-Nr.	KS-Cnr.: 912913 Seite/page 01 von/of 02	F
	NP-Proj.-Nr.: New proj. no.:		Ersetzt durch Replaced by	Weiterführ. Zeichen. princ. drawing	Datum date 2010/05/21	
Putzmeister	Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.					
Putzmeister Solid Pumps GmbH Max-Eyth-Str.10 72631 Aichtal Germany Tel+48 (0) 7127-598-0 Fax+48 (0) 7127-598-988	The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without explicit authorization of the Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.					

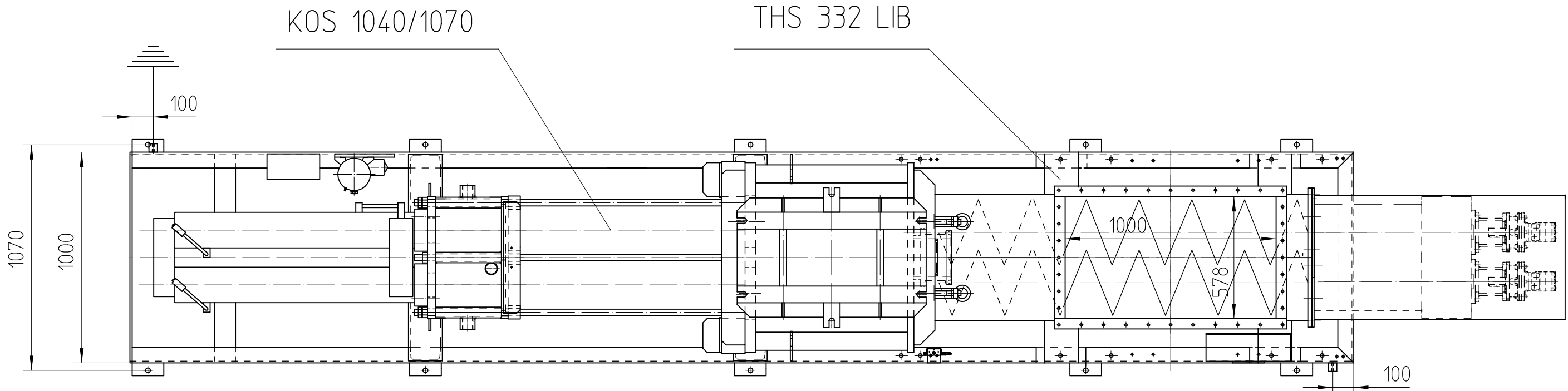
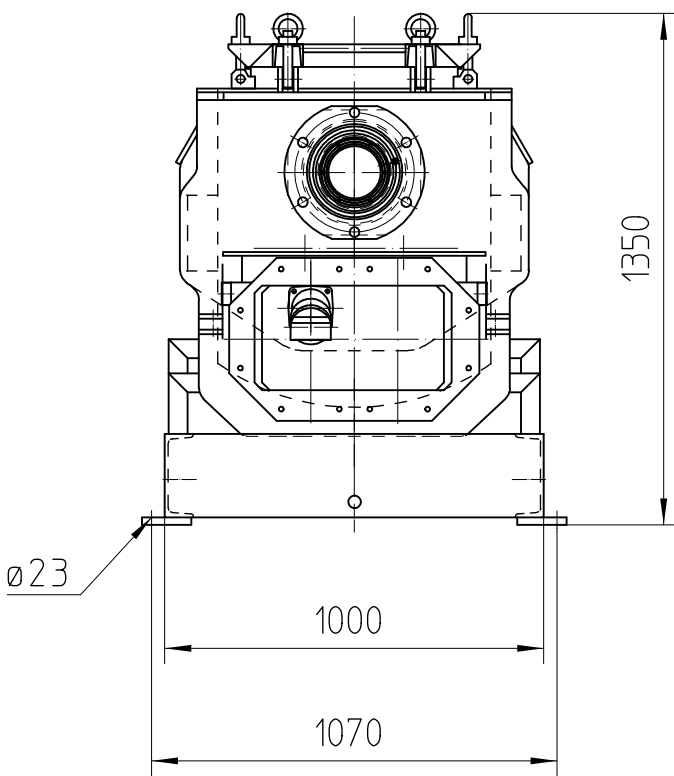
Bedienseite abhängig von der jeweiligen Aufstellung.
Abweichende Position der Schottleiste auf Anfrage.

Operating side depends on equipment arrangement on site.
Deviant position of bulkhead on request

Nicht Lieferumfang Putzmeister AG
not in scope of supply Putzmeister AG



Ansicht Z

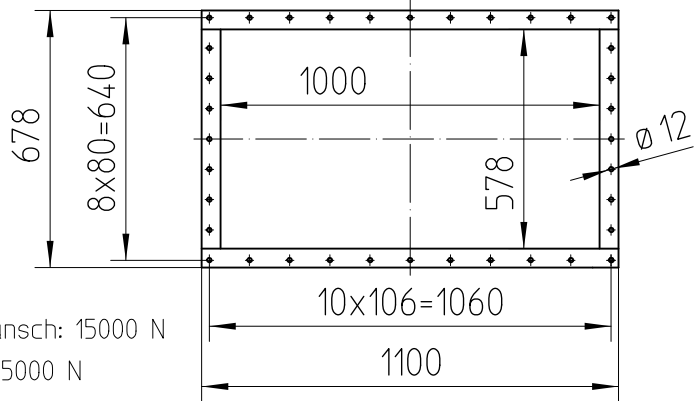


Druckstutzenmaß "X"
Dimension "X"

für/for ZX 125 X=574,5mm
für/for ZX 150 X=576,0mm
für/for ZX 200 X=562,0mm

Ansicht A
View A
Einlaufflansch THS 332 LIB
inlet flange THS 332 LIB

Gewicht/ Fundamentlast KOS 1070 HP + THS 332 LIB: ~4000 kg
weight / load on foundation KOS 1070 HP + THS 332 LIB: ~4000 kg



- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. HY.Antriebszylinder | HY.drive cylinder |
| 2. Rahmen | Frame |
| 3. Wasserkasten | Water box |
| 4. Wasserkastenabdeckung | Water box cover |
| 5. Förderzylinder | Delivery cylinder |
| 6. Trichter GS LIB | Hopper GS LIB |
| 7. Reinigungsöffnung | Cleanout door |
| 8. Druckstutzen | Pressure outlet |
| 9. Fettzentralschmierung | Central grease lubrication |
| 10. Klemmenkasten | Terminal box |
| 11. Schottleiste | Bulkhead |

KOS 1040-1070 HP THS 332 LIB

Putzmeister

Putzmeister Solid Pumps GmbH
Max-Eyth-Str.10 72631 Aichtal Germany
Tel.+49 (0) 7127-599-0 Fax+49 (0) 7127-599-988

Nur zur Information For information only	Gültigkeitsdauer 12 Monate Period of validity 12 months	Maßangaben sind ca.Maße Dimensions only approximate values	Bezieht sich nur auf Projekt: Only referring to project:	Kopie vom: Date of copy:	Änd.-Stand Revision
VK-Proj.-Nr.: Sales proj. no.:	Ersatz für Replacement for	made by HaeckerE / HechtHr	KS-Nr.: 913676		
NP-Proj.-Nr.: New proj. no.:	Ersetzt durch Replaced by	Weiterführ. Zeichn. princ. drawing	Seite/page 01 von/of 01		
			Datum date	2010/07/26	
Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zu widerhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten. The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without explicit authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.					



CUTTING LIST	
--------------	--

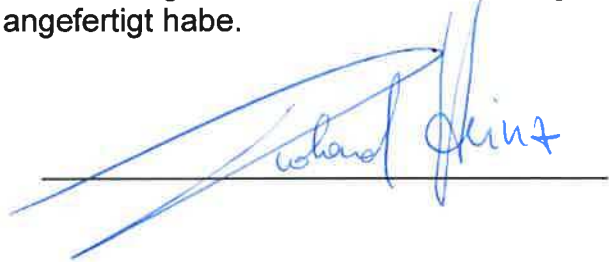
--	--	--	--	--	--

						NOTES
--	--	--	--	--	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

St. Martin im Sulmtal, den 14.12.2012

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Wolfgang Hintz", is written over a horizontal line. The signature is stylized with a large, sweeping initial 'W'.